

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Ines Dolanjski**

**ODREĐIVANJE INTERVALA PREVENTIVNE ZAMJENE  
GUMENIH OBLOGA U SUSTAVU ZA ODLEĐIVANJE  
MOTORNIH USISNIKA NA ZRAKOPLOVU DASH 8 - Q400**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2018.**

Zagreb, 3. travnja 2018.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Održavanje zrakoplova**

## **DIPLOMSKI ZADATAK br. 4736**

Pristupnik: **Ines Dolanjski (0135231761)**  
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Određivanje intervala preventivne zamjene gumenih obloga u sustavu za odleđivanje motornih usisnika na zrakoplovu Dash 8 - Q400**

### **Opis zadatka:**

Opisati zrakoplovne propise kojima je definirano održavanje zrakoplova. Izdvojiti opis održavanja komponente sustava za odleđivanje usisnika motora zrakoplova Dash 8 Q400 iz programa održavanja zrakoplova. Analizirati metode i modele za određivanje intervala zamjene komponentata zrakoplova prema literaturi i prema primjerima iz prakse. Objasniti način održavanja komponente sustava za odleđivanje usisnika motora zrakoplova Dash 8 Q400 iz programa održavanja zrakoplova i probleme koji se javljaju u eksploataciji zrakoplova. Obrazložiti potrebu promjene načina održavanja komponente, ako postoji, te definirati proceduru uvrštavanja promijenjenog načina održavanja komponente u Program održavanja zrakoplova.

Mentor:



---

doc. dr. sc. Anita Domitrović

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **DIPLOMSKI RAD**

**ODREĐIVANJE INTERVALA PREVENTIVNE ZAMJENE  
GUMENIH OBLOGA U SUSTAVU ZA ODLEĐIVANJE  
MOTORNIH USISNIKA NA ZRAKOPLOVU DASH 8 - Q400**

**DETERMINING THE PREVENTIVE REPLACEMENT  
INTERVAL OF ENGINE INTAKE DEICING SYSTEM (BOOTS)  
ON DASH 8 - Q400 AIRCRAFT**

Mentorica: izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

Studentica: Ines Dolanjski

JMBAG: 0135231761

Zagreb, rujan 2018.

*Zahvaljujem se mentorici izv. prof. dr. sc. Aniti Domitrović i gospodinu Miroslavu Šegviću na neizmjereno velikoj pomoći u izradi ovog diplomskog rada. Bez Vaših stručnih savjeta i konzultacija te znanstvenog pristupa predloženom problemu, izrada ovog rada ne bi bila moguća.*

*Veliku zahvalu uputila bih i svojim roditeljima koji su uvijek vjerovali u mene i pružali mi nesebičnu podršku tokom svih godina studija. Hvala Vam što ste me gurali prema cilju čak i kada je bilo najteže.*

*Najljepša hvala na utrošenom vremenu i pruženoj prilici.*

## SAŽETAK

Održavanje kontinuirane plovidbenosti cilj je svakog zrakoplovnog prijevoznika koji posjeduje flotu zrakoplova opremljenu svim potrebnim i ispravnim uređajima. Ona se održava na propisan način tako da tijekom leta bude što manje otkaza zrakoplovnih sustava i uređaja te da eventualni otkazi istih značajno ne ugrožavaju sigurnost zrakoplova. Provjere ispravnosti nisu jednake za sve zrakoplovne sustave i uređaje te variraju u zahtijevanom vremenu i načinu na koji se komponente provjeravaju i zamjenjuju. Gumeni oblozi u sustavu za odleđivanje motornih usisnika održavaju se prema zatečenom stanju, a optimalna raspoloživost zrakoplova može se postići odabiranjem optimalnog intervala održavanja koji će osigurati maksimalnu raspoloživost zrakoplova. Odabir intervala preventivne zamjene sustava gumenih obloga trebao bi osigurati minimalnu količinu vremena provedenog na održavanju uz manji broj odlazaka na održavanje, no nikako ne bi smio narušiti sigurnost leta.

**KLJUČNE RIJEČI:** gumeni oblozi; održavanje zrakoplova; kontinuirana plovidbenost; sustav za odleđivanje; raspoloživost zrakoplova

## SUMMARY

Maintaining the continuing airworthiness is the goal of every airliner which owns an aircraft fleet equipped with all of the needed and upstanding devices. Continuing airworthiness is maintained accordingly so that there are minimum aircraft system failures during the flight and that those eventual failures do not significantly deteriorate aircraft safety. Checks of orderliness are not equal for all aircraft systems and devices and they vary with the requested time and way in which the components are checked and replaced. The engine intake deicing boots are maintained on condition and the optimal aircraft availability can be achieved by a optimal maintenance interval which will provide the maximum aircraft availability. The selection of the preventive interval for boots replacement should ensure that the aircraft is maintained fewer times and for a minimum period of time but it should not, in any case, decrease the level of flight safety.

**KEY WORDS:** boots; aircraft maintenance; continuing airworthiness; de icing system; aircraft availability

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ZRAKOPLOVNI PROPISI KOJIMA JE DEFINIRANO ODRŽAVANJE ZRAKOPLOVA.....	3
2.1. Osnovna regulativa .....	3
2.2. Plovidbenost zrakoplova .....	6
3. PROGRAM ODRŽAVANJA ZRAKOPLOVA .....	9
3.1. Općenito o programu održavanja .....	9
3.1.1. Počeci programa održavanja.....	10
3.1.2. Izrada programa održavanja .....	11
3.2. Pregledi koji čine program održavanja.....	13
3.3. Program održavanja zrakoplova Dash 8 - Q400 ovlaštene organizacije za održavanje .....	16
3.3.1. Opće informacije.....	16
3.3.2. Definicije i regulacije .....	17
3.3.3. Planirano održavanje .....	17
3.3.4. Neplanirano održavanje.....	18
3.3.5. Vremenska i operativna ograničenja te program pogonske grupe .....	18
3.3.6. Zonski program .....	18
3.3.7. Strukturni program .....	20
3.4. Raspored održavanja zrakoplova Dash 8 - Q400 ovlaštene organizacije za održavanje.....	21
4. ODRŽAVANJE KOMPONENATA SUSTAVA ZA ODLEĐIVANJE USISNIKA MOTORA ZRAKOPLOVA DASH 8 - Q400.....	22
4.1. Sustav za odleđivanje usisnika motora .....	23
4.2. Komponente sustava za odleđivanje usisnika motora .....	25
4.2.1. Dvostruki razdjelni ventil .....	25
4.2.2. Automatski odvodni ventil.....	27
4.2.3. Ventil za regulaciju tlaka i negrijani povratni ventil.....	27
4.2.4. Prekidač za upozoravanje na niski tlak .....	28

4.2.5. Pretvarač tlaka .....	29
4.2.6. Izolacijski zatvorni ventil .....	30
4.3. Uklanjanje i instalacija gumenih obloga .....	32
4.4. Održavanje gumenih obloga u sustavu za odleđivanje usisnika motora .....	34
4.4.1. Provjera prilikom obilaska zrakoplova - „Walk Around Check“ .....	34
4.4.2. Zimski program .....	35
5. MODELI I METODE ZA ODREĐIVANJE INTERVALA ZAMJENE KOMPONENATA ZRAKOPLOVA.....	37
5.1. Matematičke metode za određivanje intervala zamjene komponenata .....	39
5.2. Pouzdanost.....	40
5.3. Weibull-ova distribucija .....	41
6. PROMJENA NAČINA ODRŽAVANJA KOMPONENTE SA „ODRŽAVANJE PREMA STANJU“ (ON CONDITION) U „ODRŽAVANJE PREMA FIKSNIM INTERVALIMA“ (HARD TIME) .....	43
6.1. Parametri bitni pri određivanju pogodnog intervala preventivne zamjene .....	43
6.2. Proračun pogodnog MTTF-a za komponente gumenih obloga koristeći distribuciju otkaza i kumulativnu distribuciju otkaza.....	44
6.2.1. MTTF .....	44
6.2.2. Distribucija otkaza i kumulativna distribucija otkaza.....	45
6.2.3. Proračun pogodnog MTTF-a .....	47
6.3. Analiza troškova .....	51
6.4 . Weibull-ova distribucija .....	57
7. ZAKLJUČAK .....	64
LITERATURA .....	66
POPIS KRATICA .....	68
POPIS SLIKA .....	71
POPIS TABLICA .....	72
POPIS GRAFIKONA.....	73

## 1. UVOD

Cilj svakog zrakoplovnog prijevoznika koji posjeduje flotu zrakoplova opremljenu svim potrebnim i ispravnim uređajima je održavati kontinuiranu ploidbenost tih zrakoplova na propisan način tako da tijekom leta bude što manje otkaza zrakoplovnih sustava i uređaja te da eventualni otkazi zrakoplovnih sustava i uređaja značajno ne ugrožavaju sigurnost zrakoplova. Provjere ispravnosti nisu jednake za sve zrakoplovne sustave i uređaje te variraju u zahtijevanom vremenu i načinu na koji se komponente provjeravaju i zamjenjuju.

Cilj ovog diplomskog rada je analizirati stvarne i trenutne podatke o intervalima održavanja gumenih obloga iz sustava za odleđivanje motornih usisnika (*Boots*) zrakoplova Dash 8 - Q400 koji su određeni u programu održavanja zrakoplova. Svrha rada je pronaći pogodni interval preventivne zamjene navedene komponente koji će imati pozitivan učinak na operativnu raspoloživost uz manje troškove i prihvatljivu razinu sigurnosti.

Rad se sastoji od 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Zrakoplovni propisi kojima je definirano održavanje zrakoplova
3. Program održavanja zrakoplova
4. Održavanje komponenata sustava za odleđivanje usisnika motora zrakoplova Dash 8 - Q400
5. Modeli i metode za određivanje intervala zamjene komponenata zrakoplova
6. Promjena načina održavanja komponente sa „održavanje prema stanju“ (*On Condition*) u „održavanje prema fiksnim intervalima“ (*Hard Time*)
7. Zaključak

Unutar prvog, uvodnog poglavlja, definirani su ciljevi diplomskog rada te je opisana struktura i sadržaj rada.

Drugo poglavlje opisuje nacionalnu i međunarodnu regulativu održavanja zrakoplova koje su bitne za zračne prijevoznike i ovlaštene organizacije za održavanje zrakoplova.



Treće poglavlje opisuje izradu početnog programa održavanja, preglede koji čine program održavanja te sadržaj programa održavanja i rasporeda održavanja zrakoplova Dash 8 – Q400 ovlaštene organizacije za održavanje.

U četvrtom poglavlju opisano je održavanje komponenata sustava za odleđivanje usisnika motora te su opisane funkcije pojedinih komponenata zajedno sa postupkom uklanjanja i instalacije gumenih obloga.

Peto poglavlje objašnjava pojedine matematičke metode, pouzdanost sredstva te *Weibull*-ovu distribuciju za određivanje pouzdanosti sredstva.

Unutar šestog poglavlja izvršen je proračun pogodnog intervala preventivne zamjene na temelju analize ukupnih troškova održavanja zrakoplova u promatranom periodu.

Zaključno poglavlje obuhvaća sveukupnu analizu te iznosi najbitnije stavke o odabiru najpogodnijeg intervala preventivne zamjene.

## **2. ZRAKOPLOVNI PROPISI KOJIMA JE DEFINIRANO ODRŽAVANJE ZRAKOPLOVA**

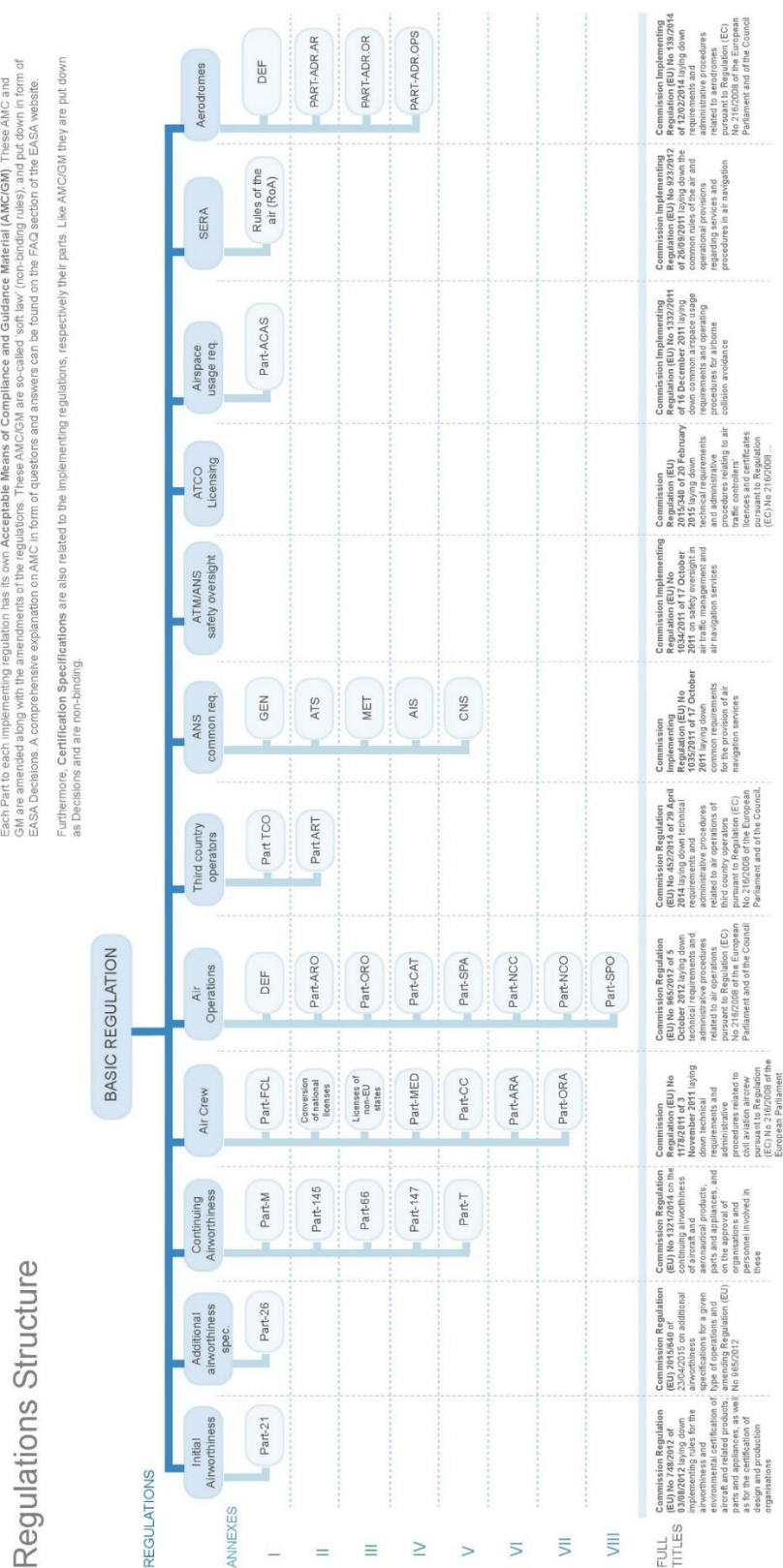
Održavanje zrakoplova propisano je na međunarodnoj i nacionalnoj razini te na razini samog tipa zrakoplova. Regulativa podrazumijeva veoma složen proces uređenja dokumentacije koja je u skladu sa svim potrebnim sigurnosnim zahtjevima kako se ni u kojem slučaju ne bi narušila sigurnost zrakoplova ili bilo koje zrakoplovne komponente ili uređaja. Svako takvo narušavanje sigurnosti podrazumijeva i narušavanje plovidbenosti zrakoplova, odnosno zrakoplov u takvim uvjetima prestaje biti pogodan za plovidbu. Isto tako, raspoloživost zrakoplova prestaje biti na zadovoljavajućoj razini što podrazumijeva prvenstveno dodatni trošak za zračnog prijevoznika.

### **2.1. Osnovna regulativa**

Početak unutar međunarodne regulative glavnih zrakoplovnih propisa vezanih za održavanje zrakoplova krenuo je sa udruženim zrakoplovnim vlastima (*Joint Aviation Authorities* - JAA). Kao pridruženo tijelo Europske konferencije za civilno zrakoplovstvo (*European Civil Aviation Conference* – ECAC) JAA nije bio regulatorno tijelo, već su propise i regulacije donosile sve članice zajedno. JAA je sa svojim zajedničkim zrakoplovnim zahtjevima (*Joint Aviation Requirements* – JAR), kao predstavnik regulatornih tijela civilnog zrakoplovstva europskih država članica koje su surađivale u razvoju i provedbi zajedničkih regulatornih standarada i procedura vezanih za zrakoplovstvo, bio iznimno važan faktor koji je utjecao na daljnji razvoj sigurnosti zrakoplovstva i kooperacije između europskih država. [1]

Prilikom osnutka Europske agencije za sigurnost u civilnom zrakoplovstvu (*European Aviation Safety Agency* – EASA) kao europskog regulatornog tijela, većina funkcija JAA postale su EASA-ine funkcije, odnosno funkcije EASA-inih članica. Isto tako EASA-ine *Part*-ovi postali su zamjena za JAA-ove JAR-ove. Neke od prenesenih funkcija su ekološke potvrde tipa zrakoplova, motora, zrakoplovnih dijelova te odobrenje istih. [1]

Precizniji prikaz EASA-inih zrakoplovnih propisa te opis pripadajućih funkcija može se vidjeti na slici 1. [2]



### Slika 1: Struktura regulacije EASA-inih *Part*-ova [2]

Na slici se može vidjeti da unutar osnovne regulatorne strukture postoji 12 područja implementacije na koje se odnose propisani *Part*-ovi. Oni su redom:

- inicijalna plovidbenost,
- dodatne specifikacije plovidbenosti,
- kontinuirana plovidbenost,
- zrakoplovno osoblje,
- zračne operacije,
- operateri trećih zemalja,
- zajednički zahtjevi usluga zračne plovidbe (*Air Navigation Services – ANS*),
- ATM/ANS nadzor sigurnosti (Upravljanje zračnim prometom; *Air Traffic Management – ATM*),
- licenciranje kontrolora zračnog prometa,
- zahtjevi korištenja zračnog prostora,
- Standardizirana europska pravila letenja (*Standardized European Rules of the Air – SERA*) i
- aerodromi.

*Part*-ovi vezani za održavanje zrakoplova nalaze se većinom unutar područja primjene za kontinuiranu plovidbenost:

- *Part M* - kontinuirana plovidbenost,
- *Part 145* – ovlaštena organizacija za održavanje (*Approved Maintenance Organization – AMO*),
- *Part 66* – licenciranje tehničkog osoblja,
- *Part 147* – ustanove za školovanje tehničkog osoblja i
- *Part T* – zrakoplovi registrirani u trećim zemljama.

Ostali *Part*-ovi vezani za navedeno područje nalaze se unutar inicijalne plovidbenosti te dodatnih specifikacija plovidbenosti, a oni su:

- *Part 21* – inicijalna plovidbenost i
- *Part 26* – dodatne specifikacije plovidbenosti za operacije zrakoplova.

Zrakoplovna regulativa u Republici Hrvatskoj vezana za održavanje zrakoplova od 28.11.2016. do ulaska Republike Hrvatske u Europsku Uniju podrazumijevala je Pravilnik o kontinuiranoj plovidbenosti zrakoplova i aeronautičkih proizvoda, dijelova i

uređaja, te o ovlaštenju organizacija i osoblja uključenih u te poslove. Navedenim pravilnikom bili su propisani:

- Tehnički zahtjevi i način osiguranja kontinuirane plovidbenosti zrakoplova i aeronautičkih proizvoda, dijelova i uređaja (sada u *Part-u M*).
- Zahtjevi za izdavanje ili produljenje valjanosti ovlaštenja organizacije za održavanje zrakoplova i komponenti (sada u *Part-u 145*).
- Zahtjevi za izdavanje dozvole za održavanje zrakoplova (sada u *Part-u 66*).
- Zahtjevi koje moraju ispuniti organizacije za školovanje zrakoplovnog tehničkog osoblja (sada u *Part-u 147*).

Nakon ulaska u Europsku Uniju direktno se primjenjuje Uredba Europske komisije (*European Commission – EC*) broj 2042/2003, sa svim izmjenama i dopunama koje kontinuirano stupaju na snagu, odnosno direktno se primjenjuju *Part M*, *Part 145*, *Part 66* i *Part 147*, kako je već i spomenuto. [3]

Unutar Republike Hrvatske na snazi je još i Zakon o zračnom prometu, Pravilnici koje donosi Uprava zračnog prometa u sastavu Ministarstva pomorstva, prometa i infrastrukture te zakonodavne zrakoplovne vlasti. Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (CCAA – *Croatian Civil Aviation Agency*) predstavlja izvršnu zrakoplovnu vlast unutar države. [4]

## **2.2. Plovidbenost zrakoplova**

Plovidbenost zrakoplova je sposobnost zrakoplova za sigurnu zračnu plovidbu, odnosno sposobnost zrakoplova da leti kada udovoljava minimalnim uvjetima propisanim unutar certifikata o tipu zrakoplova (*Type Certificate – TC*). To uključuje dizajn i konstrukciju zrakoplova te se njime mora upravljati unutar propisanih granica. Zrakoplov koji premašuje bilo koju granicu može biti procijenjen kao nepouzdan, a time i nesposoban za plovidbu. Unutar životnog vijeka, zrakoplov se mora održavati prema specifičnim zahtjevima kako bi ostao plovidben.

Sigurnost letenja izravno je povezana sa plovidbenošću zrakoplova. Iako je ta veza očigledna, ona je istovremeno i veoma kompleksna. Dizajniranjem zrakoplova često se nastoji poboljšati ekonomičnost, odnosno smanjiti troškovi, kako za korist proizvođača, tako i za operatera zrakoplova. Iz tog razloga nužna je inspekcija

certificiranih tijela kako bi ispitali sve aspekte dizajna i konstrukcije, čak i kada je vidljivo poboljšanje minimalnih standarda. Kada se smatra za zrakoplov da udovoljava svim zahtjevima za izdavanje certifikata, biti će mu dodijeljen certifikat o tipu - TC.

Ako je plovidbenost zrakoplova narušena to može imati značajan utjecaj na sigurnost, a ukoliko se zrakoplov ne vrati u plovidbeno stanje to može dovesti do nezgode ili nesreće u nekom budućem trenutku. Ukoliko posada tijekom leta nepravilno postupi prema nekom kvaru koji narušuje pouzdanost plovidbe zrakoplova, može doći do značajno lošijeg ishoda nego što bi se to pripisalo samo temeljnom kvaru. Iz tog razloga bitno je pružati adekvatno školovanje posade i upute o procedurama leta kako bi se takvi ishodi u potpunosti izbjegli.

Aktivnosti koje osiguravaju plovidbenost zrakoplova dijele se na certificiranje i nadzor nad zrakoplovima te na certificiranje i nadzor nad organizacijama i osobama koje se bave projektiranjem, proizvodnjom, kontinuiranom plovidbenošću i održavanjem zrakoplova.

Zrakoplov je plovidben ako je:

- opremljen svim potrebnim i ispravnim uređajima (inicijalna plovidbenost, *Part 21*), te
- ako je održavan na propisani način tako da tijekom leta bude što manje otkaza zrakoplovnih sustava i uređaja i ako eventualni otkazi zrakoplovnih sustava i uređaja značajno ne ugrožavaju sigurnost zrakoplova (kontinuirana plovidbenost, *Part M*). [5]

Zrakoplov i njegove komponente mogu biti održavane samo od strane ovlaštene organizacije za održavanje (*Approved maintenance organization – AMO*) prema *Part-u 145*. Kako bi jedna takva organizacija mogla obavljati rad, potrebno je da posjeduje ovlaštenje za rad koje izdaju zrakoplovne vlasti države. U Republici Hrvatskoj to je CCAA.

Uvjeti za dobivanje *Part 145* certifikata su slijedeći:

- organizacija treba imati osiguran prostor za provedbu aktivnosti,
- ispravne alate potrebne za provedbu aktivnosti,
- licencirano osoblje,

- tehničku dokumentaciju te
- Priručnik organizacije za održavanje zrakoplova (*Maintenance Organization Exposition – MOE*).

Rukovodna struktura, tehnološki i organizacijski procesi te sustav kvalitete prikazuje se unutar Priručnika MOE koji odobravaju zrakoplovne vlasti. [6]

Odobrena organizacija za vođenje kontinuirane plovidbenosti prema *Part-u M* (*Continuing Airworthiness Management Organization - CAMO*) unutar opsega svojih aktivnosti uključuje upravljanje i organizaciju svih dokumenata i publikacija ovlaštenih organizacija za održavanje. Osim toga pohranjuje sve spise o provedenim aktivnostima održavanja. CAMO definira odobreni opseg posla organizacije.

Glavni zahtjevi koje odobrena organizacija za vođenje kontinuirane plovidbenosti mora ispunjavati su:

- posjedovanje prostorija za pohranu dokumentacije te ureda,
- treba biti usklađena sa *Part M* zahtjevima i posjedovati Priručnik organizacije za vođenje kontinuirane plovidbenosti zrakoplova (*Continuing Airworthiness Management Exposition – CAME*). [7]

Priručnik CAME opisuje kako organizacija ispunjava zahtjeve *Part M* standarda, odnosno pododjeljka „G“ kojim je definirano vođenje kontinuirane plovidbenosti i pododjeljka „I“ kojim je definirano izdavanje, to jest produljenje kontinuirane plovidbenosti zrakoplova. U Priručniku se također može definirati lista sposobnosti organizacije u kojoj su navedeni zrakoplovi za koje organizacija može voditi plovidbenost. Primjer takve liste prikazan je u tablici 1. [6]

**Tablica 1: Lista zrakoplova za koje organizacija može voditi plovidbenost prema CAME priručniku [6]**

Airplane Type	Engine Type(s)
Cessna 150, 172, 182, 188, 206, 207, 310 series	Continental / Lycoming
Piper 18, 25, 28, 34, 44 series	Continental / Lycoming

### 3. PROGRAM ODRŽAVANJA ZRAKOPLOVA

Svi postupci održavanja zrakoplova koji se obavljaju u tijeku eksploatacije zrakoplova na samom zrakoplovu, na njegovoj strukturi, pogonskoj grupi, zrakoplovnim sustavima i opremi zrakoplova definirani su unutar programa održavanja. On se izrađuje za svaki tip zrakoplova, odnosno sustava, pogonske grupe ili opreme.

#### 3.1. Općenito o programu održavanja

Program održavanja sadrži postupke o načinu održavanja te rokove i način njihovog izvršenja, a utvrđuje se u skladu sa Zakonom o zračnom prometu, zahtjevima za održavanje odobrenih od nadležnih zrakoplovnih vlasti zemlje proizvođača, tehničkim uputama proizvođača za održavanje tog tipa zrakoplova, pogonske grupe, zrakoplovnih sustava i opreme.

Program održavanja zrakoplova izrađuje operater, odnosno vlasnik zrakoplova, odnosno organizacija koja izrađuje dokumentaciju za održavanje zrakoplova. Namjena programa održavanja zrakoplova je održavanje konstantne, konstrukcijom utvrđene razine pouzdanosti zrakoplova, pogonske grupe, zrakoplovnih sustava i opreme te da se postigne i održi utvrđena razina pouzdanosti i sigurnosti uz minimalne troškove. [5]

Program održavanja daje se na odobrenje zrakoplovnim vlastima (CCAA) i jedan je od uvjeta za dobivanje svjedodžbe o sposobnosti zračnog prijevoznika (*Air Operator Certificate* - AOC), i svjedodžbe o plovidbenosti (*Certificate of Airworthiness* - C of A). Nositelji tog odobrenja dužni su obavljati analize i stalni nadzor efikasnosti svog programa održavanja i usavršavati ga, otklanjati uočene nedostatke i obavljati potrebne izmjene uzrokovane modifikacijama zrakoplova ili izmjenama o održavanju zrakoplova od strane proizvođača. [5]

Kako bi se odobreni program održavanja mogao primijeniti, operater zrakoplova mora ustanoviti takvu organizaciju rada koja će osigurati potpunu realizaciju potrebnih aktivnosti ili ugovorom osigurati obavljanje aktivnosti kod druge zrakoplovno tehničke



organizacije koja posjeduje odgovarajuću stručnost, opremu i druge zahtjeve potrebne za obavljanje radova održavanja koji su predmetom ugovora.

Neovisno o tome održava li operater zrakoplova sam zrakoplove koje upotrebljava ili je održavanje putem ugovora povjerio drugoj zrakoplovnoj tehničkoj organizaciji, odgovornost za poštivanje programa održavanja snosi operater zrakoplova. [5]

### **3.1.1. Počeci programa održavanja**

Zrakoplovne vlasti Sjedinjenih Američkih Država donijele su 1930. godine prvi propis za održavanje zrakoplova koji je propisivao održavanje u određenim fiksnim intervalima, tzv. *Hard time*.

Skoro 40 godina kasnije, 1968. godine, skupina američkih zrakoplovnih tvrtki objavila je dokument pod nazivom MSG - 1 (*Maintenance Steering Group*). Novost u tom dokumentu je održavanje ostalih dijelova zrakoplova koji ne utječu na sigurnost prema zatečenom stanju (*On condition*), što je uključivalo praćenje i periodičku provjeru stanja tih komponenti (*Condition monitoring*). Nedugo nakon toga uslijedio je novi dokument pod nazivom MSG - 2 koji se koristio za programe održavanja zrakoplova L - 1011 i DC - 10, a kasnije i za A300 i Concorde.

Godine 1980. razvijen je MSG - 3 koji se koristi i danas te predstavlja osnovu za izradu programa održavanja modernog zrakoplova. Dokument je izradila tzv. *Maintenance Steering Group - 3 Task Force* pod vodstvom udruženja zračnih prijevoznika, odnosno ATA udruženja (*Air Transport Association - ATA*). [5]

MSG - 3 predstavlja najmoderniji model izrade programa održavanja zrakoplova. Objedinjuje evaluaciju otpornosti na oštećenja (*Damage tolerance*), dodatne programe inspekcije, pojave višestrukih grešaka, efekte grešaka na strukturu u neposrednoj blizini, rast pukotine od uočljive duljine do kritične duljine, istraživanje praga za potencijalne otkaze i sl.

MSG - 3 logika definira radne zadatke, a ne proces održavanja. Kod kreiranja procesa održavanja, definira program redovitog održavanja koji se sastoji od grupacija redovitih radnih zadataka koje je potrebno izvršavati u određenim intervalima. Cilj radnih

zadataka je sprječavanje degradacije pouzdanosti i sigurnosti određenog sustava, opreme ili dijela zrakoplova.

Radni dio MSG - 3 dokumenta sastoji se od tri dijela i svaki od njih sadrži svoju logiku analize i odlučivanja, te materijal koji ju objašnjava:

- metode analize zrakoplovnih sustava i motora,
- razvoj programa za strukturalno održavanje zrakoplova i
- program inspekcije zona zrakoplova.

MSG - 3 ima tzv. *top down approach* što znači da polazi od cijelog zrakoplova, preko zrakoplovnih sustava pa prema nižim razinama do samih dijelova tih zrakoplovnih sustava. Na taj način vrši se analiza grešaka na najvišoj razini zrakoplovnog sustava gdje se greška može uspješno ukloniti, odnosno spriječiti. Definirani su pogodni radni zadaci kojima se sprječava pojava grešaka te se održava ugrađena razina pouzdanosti zrakoplova. [5]

### **3.1.2. Izrada programa održavanja**

Kako bi se program održavanja zračnog prijevoznika mogao početi izrađivati, potrebna je radna grupa stručnjaka koja će osigurati inicijalne korake u izradi programa. Dio te radne grupe su proizvođači, korisnici te stručnjaci državnih civilnih zrakoplovnih vlasti (*Civil Aviation Authorities* - CAA). Takva radna grupa sačinjava takozvani Odbor za ocjenjivanje održavanja (*Maintenance Review Board* – MRB) te izrađuje prijedlog programa održavanja, a treba biti odobrena od strane CAA proizvođača. Polazni dokument za izradu programa održavanja novog zrakoplova je ATA Priručnik MSG - 3.

Upravni odbor MRB pregledava i dopunjuje prijedlog te predaje pročišćenu varijantu prijedloga civilnim zrakoplovnim vlastima države proizvođača. CAA proizvođača provjerava, ispravlja i nadopunjuje prijedlog, a zatim ga ovjerava i izdaje kao svoj dokument; Izvještaj odbora za ocjenjivanje održavanja (*Maintenance Review Board Report* – MRBR), za izradu programa održavanja unutar kojeg su definirani osnovni i minimalni zahtjevi za inicijalno održavanje zrakoplova, odnosno njegove strukture, sustava i komponenti.

Proizvođač zrakoplova zatim na temelju MRBR dokumenta nastavlja nadopunjavati i nadograđivati program održavanja te izrađuje dokument za planiranje održavanja (*Maintenance Planning Document* - MPD) koji se predaje korisniku zrakoplova kako bi ga mogao koristiti pri izradi programa održavanja.

Dokument MPD uključuje:

- sve radne zadatke iz MRBR odobrenog od strane CAA,
- dodatne zahtjeve od strane proizvođača za koje smatra da su potrebni (npr. iz ekonomskih razloga) i
- dodatne zahtjeve zbog modifikacija i posebnih sustava ugrađenih po dodatnim zahtjevima.

Primjer MPD dokumenta može se vidjeti na slici 2.

# MPD dokument

## ATR72 MAINTENANCE PLANNING DOCUMENT

TASK NUMBER	ZONE	DESCRIPTION	THRESHOLD INTERVAL SAMPLE	CODE	REMARKS	MEN	M.H.	EFFECTIVITY
212200-OPT-10000-1 (21220002)	121	RECIRCULATION FAN  OPERATIONAL TEST OF RECIRCULATION FAN AND ASSOCIATED CIRCUIT	I: 2 CFH	MRBD	J.I.C	1	0.80	ALL
N 212227-RAI-10000-1 (21220001)	122	CHECK VALVE - ECS  REMOVAL AND INSPECTION OF AIR CONDITIONING DISTRIBUTION CHECK VALVES FOR WEAR AND FLAPPER FREE MOVEMENT  JIC:CHECK VALVE 8003 HB/212281-CHK-10000 CHECK VALVE 8484 HB/212227-CHK-10000  PREP. : ZONE 122-SEATS REMOVAL	I: 8 CFH	MRBD	J.I.C	1	0.80	ALL
R 212300-OPT-10010-1 (21230002)	210	EXTRACTION FAN  OPERATIONAL TEST OF EXTRACTION FAN POWER SUPPLY CHANGE OVER AND ASSOCIATED ALERT  ACCESS: 221AF	I: 2 CFH	MRBD	J.I.C	1	0.20	ALL
R 212300-OPT-10020-1 (21230001)	210	OVERBOARD VALVE  OPERATIONAL TEST OF OVERBOARD VALVE AND ASSOCIATED ALERT USING OVERBOARD VALVE SWITCH  ACCESS: 221HF	I: 2 CFH	MRBD 8	J.I.C	1	0.30	ALL
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)

SYSTEMS AND COMPONENTS

AIR CONDITIONING

ISSUE : OCT 20/94

SECTION : 3-21/2

PAGE 1

Slika 2: Primjer MPD dokumenta [5]

Prikazani MPD dokument odnosi se na zrakoplov ATR72 te sadrži podatke, redom po stupcima:

- broj zadataka održavanja,
- zona unutar koje se izvodi zadatak,
- opis radnog zadatka,
- interval pregleda,
- veza s MRB dokumentom,
- primjedba (odnosi se na pitanje: „Potrebna li je radna kartica za ovaj zadatak?“),
- broj ljudi potrebnih za izvršenje zadatka,
- broj radnih sati potrebnih za izvršenje zadatka i
- model zrakoplova.

Zatim, na temelju MPD dokumenta, operater odnosno zračni prijevoznik izrađuje Program održavanja za tip zrakoplova. Program održavanja uzima u obzir zahtjeve eksploatacije zračnog prijevoznika te omogućava kontrolu troškova održavanja i ekonomičnije poslovanje. Program održavanja kontinuirano nadopunjuje na temelju:

- naredbi o plovidbenosti (*Airworthiness Directives –AD*),
- zahtjeva CAA gdje je zrakoplov registriran,
- Servisnih biltena (*Service Bulletins - SB*),
- Servisnih pisama (*Service Letters - SL*),
- zahtjeva korisnika te
- modifikacija. [5]

### **3.2. Pregledi koji čine program održavanja**

Održavanje zrakoplova provodi se kroz određene zadatke propisane programom održavanja pri kojima se pregledava struktura zrakoplova, sustava, komponenta ili određenih dijelova s ciljem da se utvrdi opće stanje zrakoplova, pogonskog sustava, komponenta te strukture. Isto tako vrši se inspekcija, odnosno pregledi spojeva, zglobova, provjerava se ima li pukotina, odljepljivanja, habanja i korozije i slično.

Nakon utvrđivanja stanja u kojemu se nalazi zrakoplov, odnosno neka njegova komponenta, zadatak tehničkog osoblja je da zrakoplov dovede u ispravno stanje kako bi isti bio sposoban obavljati sigurne letne operacije, odnosno kako bi bio plovidben.

U program održavanja spadaju pregledi koji su prema opsegu i prirodi podijeljeni u 6 glavnih grupa [5]:

1. Servisni pregledi – predpoletni, tranzitni, dnevni pregledi i pregledi namijenjeni obimnijim servisnim i preventivnim radovima (npr. podmazivanje osjetljivih uređaja) te otklanjanje kvarova.
2. Povremeni pregledi – pregledi koji uključuju radove redovitog održavanja koji se ponavljaju u određenim vremenskim razdobljima, radove preventivnog održavanja koji se uklapaju u ove periode, otklanjanje kvarova i obavljanje manjih modifikacija.
3. Radovi velike obnove/blok pregledi (*Overhaul*) – obuhvaćaju skidanje većine uređaja sa zrakoplova, njihov detaljan pregled i funkcionalno ispitivanje, pregled i ispitivanje njihovih instalacija i strukture zrakoplova, otklanjanje svih nađenih nedostataka, zatim strukturalne radove većeg obujma, veće modifikacije, otklanjanje korozije sa svih površina, obnavljanje interijera, boje i drugih vidova površinske zaštite kao i radove preventivnog održavanja. Cijeli program radova obnove zrakoplova se može obaviti odjednom ili u etapama.
4. Posebni pregledi – odnose se na program radova koji se obavljaju na zrakoplovu nakon izvanrednih situacija u kojima se zrakoplov našao, pri čemu je moglo doći do preopterećenja konstrukcije zrakoplova, površinskog oštećenja elemenata zrakoplova uslijed agresivnog djelovanja vanjske sredine ili drugih posljedica koje utječu na plovidbenost zrakoplova.
5. Provjere u letu - obuhvaćaju ispitivanje performansi i funkcija zrakoplova kao cjeline te njegovih uređaja i sustava tijekom svih faza leta. Obavljaju se prilikom ispitivanja novosagrađenog serijskog zrakoplova, tehničkih pregleda za utvrđivanje plovidbenosti, nakon većih modifikacija i popravaka koji bi mogli za posljedicu imati promjenu osnovnih performansi zrakoplova, nakon zamjene aerodinamičkih nosećih i komandnih površina, u slučajevima kad se ispitivanja ne mogu uspješno obaviti na zemlji, nakon zamjene jednog motora kod klipnih, odnosno dva ili više motora istodobno kod mlaznih višemotornih zrakoplova,

nakon demontaže ili zamjene komandi leta te kad zrakoplovne nadležne vlasti to zahtijevaju u interesu sigurnosti zračnog prometa.

6. Pregledi za utvrđivanje plovidbenosti zrakoplova – odnose se na preglede kojima se utvrđuje sposobnost zrakoplova za sigurnu zračnu plovidbu, odnosno utvrđuje se da li je zrakoplov izrađen i opremljen uređajima i opremom po odredbama Zakona od zračnom prometu i drugih propisa, tehničkih zahtjeva, uvjeta i standarda koji se odnose na izgradnju i opremu zrakoplova.

Održavanje zrakoplova se još može podijeliti na bazno i linijsko održavanje. Linijsko održavanje obuhvaća aktivnosti poput detekcije i otklanjanja kvarova, zamjene komponenti, motora i propelera, obuhvaća redovne servisne preglede, manje popravke i modifikacije. Neki od linijskih pregleda su:

- tranzitni pregledi,
- servisni pregledi,
- dnevni pregledi,
- predpoletni pregledi,
- popravci koji ne zahtijevaju opsežne radnje tj. pregledi koji se odvijaju prije leta kako bi se osiguralo da je zrakoplov siguran za let.

Pregledi baznog održavanja se obično mogu opisati kao sljedeći [5]:

- *A - check*: Pregled na platformi (izvodi se svakih 125 do 500 sati, a radovi traju 3 do 10 sati)
- *B - check*: Servisni pregled (izvodi se u intervalima od 800 do 3000 sati naleta ili svakih 6 mjeseci, ovisno uvjetima eksploatacije dok radovi traju 2 do 3 dana)
- *C - check*: Među-provjera (komponente koje se ne mogu planirati u glavnu provjeru, planira se svakih 3500 do 4500 sati naleta, a radovi traju 7 do 10 dana)
- *D - check*: Glavna provjera (za moderne transportne zrakoplove dolazi u intervalima od 15000 do 18000 sati naleta, ili 4 do 5 godina prosječne eksploatacije te radovi traju 25 do 30 dana)

### 3.3. Program održavanja zrakoplova Dash 8 - Q400 ovlaštene organizacije za održavanje

Program održavanja zračnog prijevoznika može biti definiran kroz jedan ili više priručnika. Odabrani zračni prijevoznik za flotu zrakoplova Bombardier Dash 8 - Q400 posjeduje program održavanja koji je definiran:

- Programom održavanja Dash 8 - Q400 (*Maintenance Program* - MP); priručnik koji definira propise, koncept sustava za održavanje zrakoplova i pogonske grupe, posebne zahtjeve održavanja i neplanirane inspekcije održavanja i
- Rasporedom održavanja Dash 8 - Q400 (*Maintenance Schedule* - MS); priručnik koji definira raspored i učestalost zadataka održavanja zrakoplova te ostale obvezne zahtjeve, uz dodatne zadatke održavanja bitne za ekonomsku efikasnost, poboljšanje pouzdanosti te zahtjeva za udobnost putnika.

Program održavanja je u skladu s Priručnikom organizacije za održavanje (MOE) i Priručnikom organizacije za vođenje kontinuirane plovidbenosti (CAME), pozivajući se na *Part M*. [8]

#### 3.3.1. Opće informacije

Program održavanja temelji se na prosječnoj godišnjoj stopi iskoristivosti zrakoplova od 2500 FH (*Flight Hours* – sati leta), no u slučajevima kada nema potrebe za tolikom stopom iskoristivosti ili intervali zamjene i provjere komponenata nisu optimalni uvode se izmjene u program održavanja. Promjene intervala moguće su na temelju spoznaja iz prakse te raznih industrijskih i operativnih standarda.

Struktura programa održavanja ima slijedeći sadržaj [8]:

- Opće informacije
- Definicije i regulacije
- Planirano održavanje
- Neplanirano održavanje
- Vremenska i operativna ograničenja
- Program pogonske grupe

- Program inspekcija zrakoplova prema ATA 100 specifikaciji (Zonski program)
- Program strukture

### 3.3.2. Definicije i regulacije

Program održavanja sačinjavaju određena pravila, intervali i zadaci održavanja. Intervali zamjene mogu biti određeni [8]:

- Po satima naleta - FH
  - Sati naleta zrakoplova – vrijeme između polijetanja i slijetanja
  - Sati naleta pogonske grupe (*Engine Flight Hours* - EFH) – vrijeme rada (sati leta) motora
    - Za sve zrakoplove Q400 i motore PW150A vrijedi: 1 FH = 1 EFH
- Po broju ciklusa – (*Cycles* - CY)
  - Npr. jedan ciklus kod motora je interval od pokretanja do gašenja motora
    - 1 pokretanje motora = 1 CY
- Po broju slijetanja
  - Koristi se za stalni trap, zakrilca, životni vijek nadtlačne kabine
- Po kalendarskom vremenu
  - Provjera korozije, gumenih britvi, ulja i slično
    - Po danima (*Calendar Days* - CA) – 24 sata
    - Po tjednima (*Calendar Week* - WE) – 7 uzastopnih dana
    - Po mjesecima (*Calendar Month* - MO) – jedan mjesec ili 1/12 kalendarske godine

### 3.3.3. Planirano održavanje

Planirano održavanje, kako mu i ime kaže, obuhvaća sve one aktivnosti, radnje i provjere koje se izvode planirano, odnosno unutar određenih vremenskih intervala prema propisanim standardima. Ono obuhvaća aktivnosti linijskog i baznog održavanja.



- Linijsko održavanje

Linijsko održavanje definirano je prema Letku privremenog vođenja udruženih zrakoplovnih vlasti (*Joint Aviation Authority Temporary Guidance Leaflet - JAA TGL*). Obuhvaća aktivnosti detekcije i otklanjanje kvarova, zamjene komponenti, zamjene motora i propelera, redovnih servisnih pregleda, manjih popravaka i modifikacija.

- Bazno održavanje

Bazno održavanje obuhvaća aktivnosti opsežnih pregleda strukture i komponenti, a radovi se odvijaju u hangaru. Obuhvaća aktivnosti planiranog održavanja - A, B, C, L i D preglede te neplaniranog održavanja; manji popravci konstrukcije, otklanjanje kvarova, primjena i provedba modifikacija i zrakoplovnih naredbi, posebni pregledi, skladištenje, provjera nakon izbacivanja ili upotrebe sustava za opskrbu putničke kabine kisikom u izvanrednim situacijama. [8]

#### **3.3.4. Neplanirano održavanje**

Do neplaniranog održavanja dolazi prilikom iznenadnih događaja koji ukazuju na izravno ili neizravno narušavanje sigurnosti zrakoplova i njegovih sustava. Neplanirane provjere moraju se izvršiti odmah nakon neuobičajenih situacija ili primijećenih problema u eksploataciji. Također se obavljaju u slučaju vanjskih oštećenja, neobičnih zvukova te problema vezanih za stabilnosti i upravljivost zrakoplova. [8]

#### **3.3.5. Vremenska i operativna ograničenja te program pogonske grupe**

Definirana su sva bitna ograničenja i intervali održavanja komponenti te periodi unutar kojih bi se trebali obaviti radovi velike obnove i/ili zamjene komponenata. [8]

Program pogonske jedinice zrakoplova Dash 8 - Q400 je podijeljen na program održavanja propelera i program održavanja motora PW150A. [8]

#### **3.3.6. Zonski program**

Vanjski su dio zrakoplova te njegova unutrašnjost podijeljeni na velike zone, velike podzone i zone, definirane unutar ATA 100 Specifikacije, te se vodeći ovakvom

raspodjelom zrakoplov može pregledati na bazi planiranog rasporeda zonskog programa inspekcije. Program osigurava su svi sustavi, pogonska jedinica, komponente, instalacije i strukture pregledani i provjereni na ispravan način kako bi se mogla odrediti sigurnost navedenih stavki te njihovo opće stanje. Zahtjevi inspekcije svih zona na zrakoplovu sadržani su unutar ovog programa, a pojedini zonski zadaci mogu se odnositi samo na jednu zonu ili na više njih.

Program zonskih inspekcija sadrži niz općih vizualnih inspekcija (*General Visual Inspection* - GVI). Alati koji su uobičajeno potrebni za provođenje vizualnih inspekcija su baterijska lampica i inspekcijsko ogledalo, a svi zadaci trebali bi se provoditi unutar udaljenosti dometa ruku. Izgled inspekcijskog ogledala za provođenje vizualnih inspekcija može se vidjeti na slici 3. Ponekad je za potrebe provođenja zonskih inspekcija potrebno skloniti sjedala, tepihe, dijelove konstrukcije tj. oklope zrakoplova, zatim vrata, pristupne ploče i trim ploče. Izolacijski materijali trebaju se pravilno odstraniti, odnosno podići kako bi se omogućio strukturalni pregled gdje je to potrebno.



Slika 3: Vizualna provjera inspekcijskim ogledalom [9]

Za vrijeme inspekcijskih pregleda, sva oprema, struktura, konektori i kontrolni kablovi moraju se pregledati radi:

- čistoće, oštećenja, pukotina, korozije,
- znakova habanja, trenja, udubljenja, labavih ili oštećenih pričvršćivača, deformacije, povijanja i pucanja,

- ispravne instalacije kontrolnih šipki, kotura, ožičenja, električnih veza, zemaljskih klinova i cijevi,
- ispravne instalacije konektora sa ostalim oblicima zaštite od osvjetljenja i visokointenzivnih polja zračenja (*Lighting and High Intensity Radiated Fields Protection* – L/HIRF),
- znakova curenja tekućina, pregrijavanja te neobičnog obezbojenja,
- ispravnog rada odvodnih šupljina; ne smiju biti prljave, začepljene i vlažne. [8]

### 3.3.7. Strukturni program

Dizajnirani životni vijek zrakoplova Dash 8 - Q400 je 80 000 letova, a struktura zrakoplova dizajnirana je na način da bude otporna na oštećenja. Okolišna oštećenja (*Environmental Damage* - ED), slučajna oštećenja (*Accidental Damage* - AD) i oštećenja uslijed zamora (*Fatigue Damage* - FD) tri su glavne vrste oštećenja koja se uzimaju u obzir prilikom određivanja zadataka strukturnog programa održavanja.

Strukturni program objedinjava sve redovne provjere koje se odnose direktno na strukturu zrakoplova. Kod pojedinih zrakoplova koji imaju velike strukturalne popravke mogu se zahtijevati dodatne inspekcije ili revizije postojećih intervala inspekcija.

Samo su primarne strukture, koje su definirane kao strukturalno značajne (*Structurally Significant Items* – SSI) te njihovi glavni strukturalni elementi (*Principal Structural Element* – PSE), uključene u strukturni program. Aktivnosti i provjere vezane za okolišna i slučajna oštećenja vežu se uz strukturalno značajne strukture dok se oštećenja uslijed zamora vežu za glavne strukturalne elemente. Održavanje ostalih struktura pokriveno je zonskim programom inspekcija.

Kao intervali inspekcija okolišnih i slučajnih oštećenja koriste se kalendarske vrijednosti, A ili C pregled dok su intervali inspekcija oštećenja nastalih uslijed zamora vezani za broj ciklusa te se temelje na vidljivim pukotinama te na previđanjima koliko će određene pukotine narasti. [8]

### **3.4. Raspored održavanja zrakoplova Dash 8 - Q400 ovlaštene organizacije za održavanje**

Raspored održavanja zrakoplova Dash 8 – Q400 objedinjuje zadatke i frekvencije vezane za sustave, pogonsku grupu i strukturu zrakoplova. Oni se temelje na MRBR i MPD dokumentu te ostaloj relevantnoj dokumentaciji. Definirani zadaci su redovni i zahtijevani od proizvođača zrakoplova i njegovih komponenti te zrakoplovnih vlasti.

Unutar ATA 100 konvencije, pogonska grupa i sustavi zrakoplova prepoznati su preko desetoznamenkastog broja. Prvih 6 znamenki predstavljaju određeni broj, zatim slijedi pravopisni znak spojnica koja spaja prvih 6 znamenaka sa zadnje 3 koje označavaju neki redoslijed, odnosno dezinaciju. Npr. XXXXXX-1YY i XXXXXX-2YY. YY u primjeru predstavlja broj redoslijeda zadatka, npr. 275000-201, 275000-202 itd.

Brojevi slučajnih i okolišnih oštećenja unutar strukturnog održavanja izvedeni su iz brojeva strukturno značajnih komponenti (SSI), a zadaci oštećenja nastalog uslijed zamora izvedeni su preko brojeva glavnih strukturnih elemenata (PSE). Označavanje je jednako kao i prethodno spomenuto, samo što je pravopisni znak, spojnica „-“, zamijenjena slovom „A“ za slučajna oštećenja, slovom „E“ za okolišna oštećenja te slovom „F“ za oštećenja nastala uslijed zamora (npr. 531000A201, 531000E201, 531000F101 i sl.).

Zadaci zonskog održavanja označavaju se slovom „Z“ ispred oznake velike zone te ih prati broj koji označava redoslijed unutar te zone, npr. Z200-02, Z200-03 itd. Slovo „E“ koristi se nakon redoslijednog broja kako bi se označila vanjska inspekcija npr. Z200-01E. Zonski zadaci mogu biti samo za jednu zonu ili za više njih, ovisno o namjeni inspekcije. [8]

Uz ovih par iznad navedenih primjera postoji još primjera, odnosno načina označavanja pojedinih sustava zrakoplova gdje se svi načini označavanja u nekoj mjeri razlikuju jedni od drugih.

#### 4. ODRŽAVANJE KOMPONENATA SUSTAVA ZA ODLEĐIVANJE USISNIKA MOTORA ZRAKOPLOVA DASH 8 - Q400

Obitelj zrakoplova Dash 8 kanadskog proizvođača *Bombardier Aerospace* sadrži regionalne turboprop zrakoplove serije Q100 i Q200 čiji je kapacitet 37 putnika, zatim serije Q300 kapaciteta od 50 do 60 putnika te seriju Q400 koja nudi kapacitet za 70 do 80 putnika.

Zrakoplov serije Q400 najmlađi je u obitelji zrakoplova Dash 8 te je u komercijalnu uporabu ušao u veljači 2000. godine. Razvijen je kako bi zadovoljio zahtjeve regionalnih zračnih prijevoznika na rutama kratkog dometa s gustim prometom. [10]

Odabrani zračni prijevoznik u svojoj floti posjeduje 6 zrakoplova Dash 8 – Q400 sa kapacitetom od 76 sjedećih mjesta. Raspon krila letjelice iznosi 28.42 m, a duljina trupa 32.83 m. Prilikom krstarenja može dostići najveću brzinu od  $667 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  te maksimalnu visinu od 7620 m. Pogonska jedinica koju zrakoplovi koriste su 2 turboprop motora kanadske kompanije *Pratt & Whitney* sa snagom od 6500 do 7500 HP serije PW 150A [11]. Karakteristike zrakoplova vidljive su na slici 5.

Dash 8-Q400



Broj zrakoplova u floti	Broj sjedećih mjesta	Raspon krila	Duljina trupa	Maksimalna težina pri uzlijetanju
6	76	28.42 m	32.83 m	29257 kg

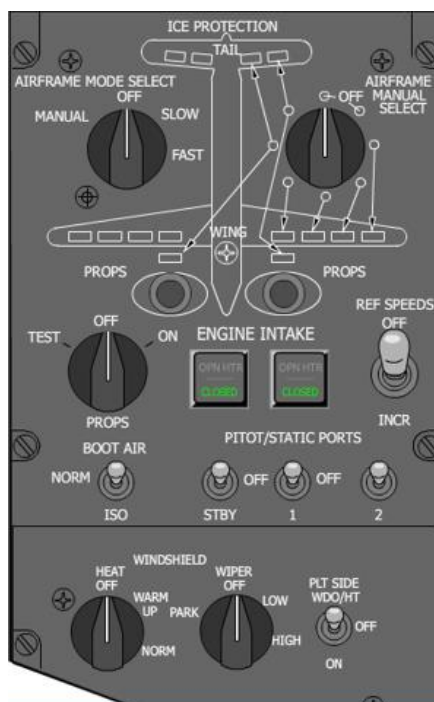
Maksimalna visina krstarenja	Površina krila	Maksimalna brzina pri krstarenju	Pogonska jedinica
7620 m	63.08 m <sup>2</sup>	667 km/h (360 KTS)	2 x Pratt & Whitney, PW 150A

Slika 4: Karakteristike zrakoplova Dash 8 - Q400 flote odabranog zračnog prijevoznika

#### 4.1. Sustav za odleđivanje usisnika motora

Sustav za odleđivanje usisnika motora zrakoplova Dash 8 – Q400 spada u sustav zaštite od leda i kiše (*Ice and Rain Protection System - IRPS*). Sustav objedinjuje detekciju leda, odleđivanje, sprječavanje zaleđivanja te uklanjanje kiše. Pomaže pri određivanju količine naslaga leda i šalje te informacije pilotima kako bi oni mogli poduzeti potrebne radnje.

Pneumatski sustav odleđivanja uklanja led koji je nastao na napadnim ivicama krila, horizontalnog i vertikalnog stabilizatora te na usisniku motora. Napadne ivice propelera odleđuju se preko električnog sustava. Sustavi koji sprječavaju zaleđivanje su termalni, odnosno koriste električne grijaće elemente koji sprječavaju nastajanje leda. Konvencionalni brisači vjetrobranskog stakla su električki pokretani te osiguravaju uklanjanje kiše vjetrobranskog stakla pilota i kopilota. Funkcije svakog od ovih sustava mogu se vidjeti na slici 5. koja prikazuje određene prekidače, okretače te tipke upravljačke ploče za zaštitu od zaleđivanja unutar pilotske kabine zrakoplova. [12]



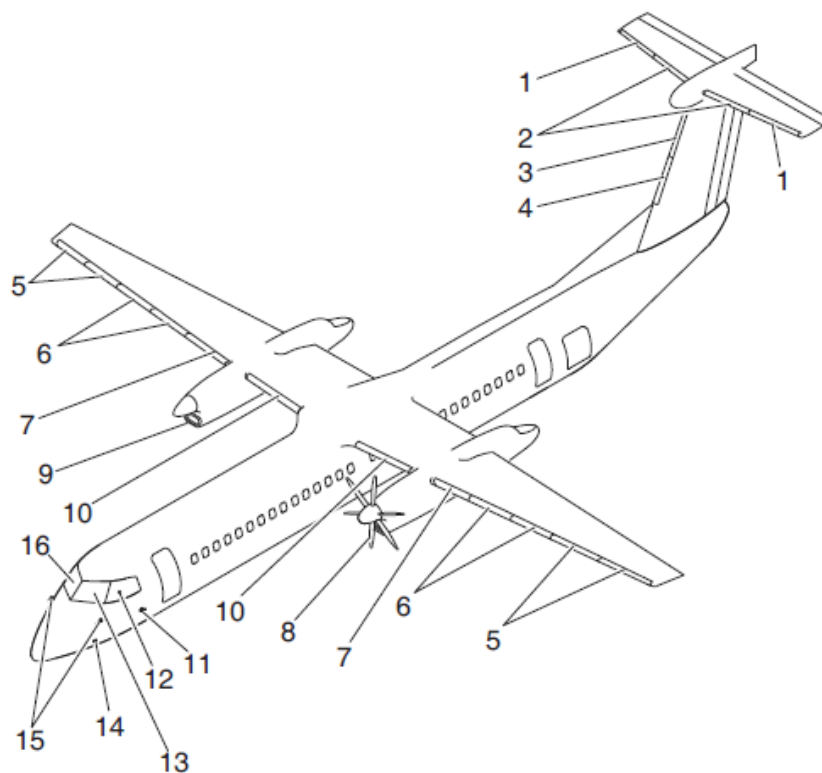
Slika 5: Upravljačka ploča za zaštitu od zaleđivanja [12]

Sustav zaštite od kiše i leda objedinjuje slijedeće podsustave:

- Sustavi odleđivanja konstrukcije zrakoplova,
- Sustavi odleđivanja pitot/statičkih sustava,
- Sustavi odleđivanja usisnika motora.

Sustav za odleđivanje usisnika motora spada pod pneumatske sustave odleđivanja. Oni rade na način se da zrak koji se odvaja iz zrakoplovnih motora (*Bleed Air*) opskrbljuje do pneumatskih gumenih obloga kako bi se razbile naslage leda sa bitnih površina zrakoplova. U protivnom, te naslage leda bile bi odgovorne za narušavanje performansi zrakoplova [12]. Odvojeni zrak (*Bleed Air*) se ne opskrbljuje samo do gumenih obloga usisnika motora, već i do gumenih obloga smještenih na napadnoj ivici krila te na horizontalnom i vertikalnom stabilizatoru repnih površina. Unutar gumenih obloga nalaze se uske cijevi koje se napuhuju s komprimiranim zrakom.

Slika 6 prikazuje sve sustave unutar ATA 30 poglavlja koji se odnose na zaštitu od kiše i leda.



Slika 6: Sustavi zaštite od kiše i leda na zrakoplovu Dash 8 - Q400 [13]

Na slici se redom nalaze [13]:

1. Vanjski gumeni oblozi horizontalnog stabilizatora
2. Unutarnji gumeni oblozi horizontalnog stabilizatora
3. Gornji gumeni oblog vertikalnog stabilizatora
4. Donji gumeni oblog vertikalnog stabilizatora
5. Gumeni oblozi vanjskog dijela krila
6. Gumeni oblozi srednjeg dijela krila
7. Gumeni oblozi unutarnjeg dijela krila
8. Grijači lopatica propelera
9. Gumeni oblozi motornog usisnika
10. Središnji gumeni oblozi
11. Vjetrokaz za mjerenje napadnog kuta
12. Vjetrobransko staklo na strani pilota
13. Pilotsko vjetrobransko staklo
14. Sonda za detekciju leda
15. Pitot/statičke cijevi
16. Vjetrobransko staklo na strani kopilota.

## **4.2. Komponente sustava za odleđivanje usisnika motora**

Sustav za odleđivanje usisnika motora sastoji se od gumenih obloga, koji se nalaze na samoj površini zrakoplova, odnosno gondole motora, zatim dvostrukih razdjelnih ventila, grijanih automatskih odvodnih ventila, ventila za regulaciju tlaka i negrijanih povratnih ventila, prekidača za upozoravanje na niski tlak, pretvarača tlaka te izolacijskog zatvornog ventila.

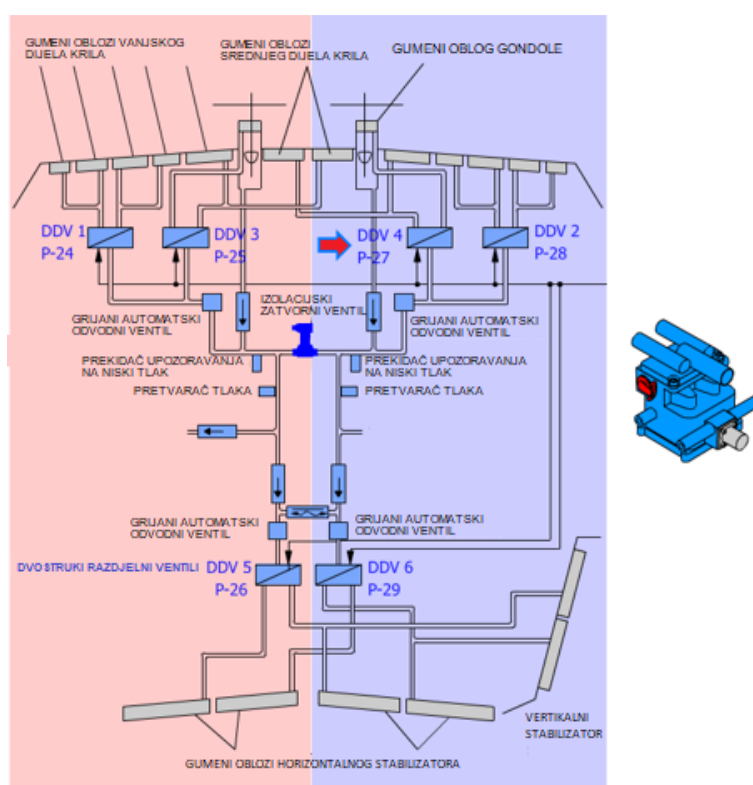
### **4.2.1. Dvostruki razdjelni ventil**

Dvostruki razdjelni ventili (*Dual Distributing Valve* - DDV) opskrbljen je zrakom iz sustava te ga raspodjeljuje u gumene obloge kroz dva odvojena električna ventila. Svakim ventilom se upravlja odvojeno, ovisno o redoslijedu brojača ili ručnom upravljanju. Prekidač niskog tlaka (*Low Pressure Switch* - LPS) koji je ugrađen na izlaz svakog dvostrukog razdjelnog ventila, zatvara se kada se tlak povisi na  $103.4 \pm 6.89$



kPa pri napuhavanju gumenog obloga te šalje signal jedinici brojača i nadzora (*Timer and Monitor Unit - TMU*). Taj signal se koristi kako bi se potvrdilo da se upravljani ventil normalno otvorio i da je tlak zraka bio dovoljan da normalno napuhne gumene obloge. Pri ispuhavanju obloga, električni ventil dopušta zraku da protječe natrag do dvostrukog razdjelnog ventila te da se ispuše van sustava kroz otvor za izbacivanje zraka. Prekidač niskog tlaka se otvori kada je tlak niži od  $75.8 \pm 17.2/-6.89$  kPa te na taj način ukazuje brojaču da je upravljani ventil radio normalno. Zrak iz gumenih obloga se uklanja koristeći Venturijev efekt, to omogućuje oblozima da se spljošte na napadnoj ivici kada nisu napuhani. Također, dvostruki razdjelni ventil je grijan kako bi se spriječilo smrzavanje električnih ventila i otvora za izbacivanje zraka te hidratizacija konektora. [12]

Izgled te smještaj dvostrukog razdjelnog ventila prikazan je na slici 7.

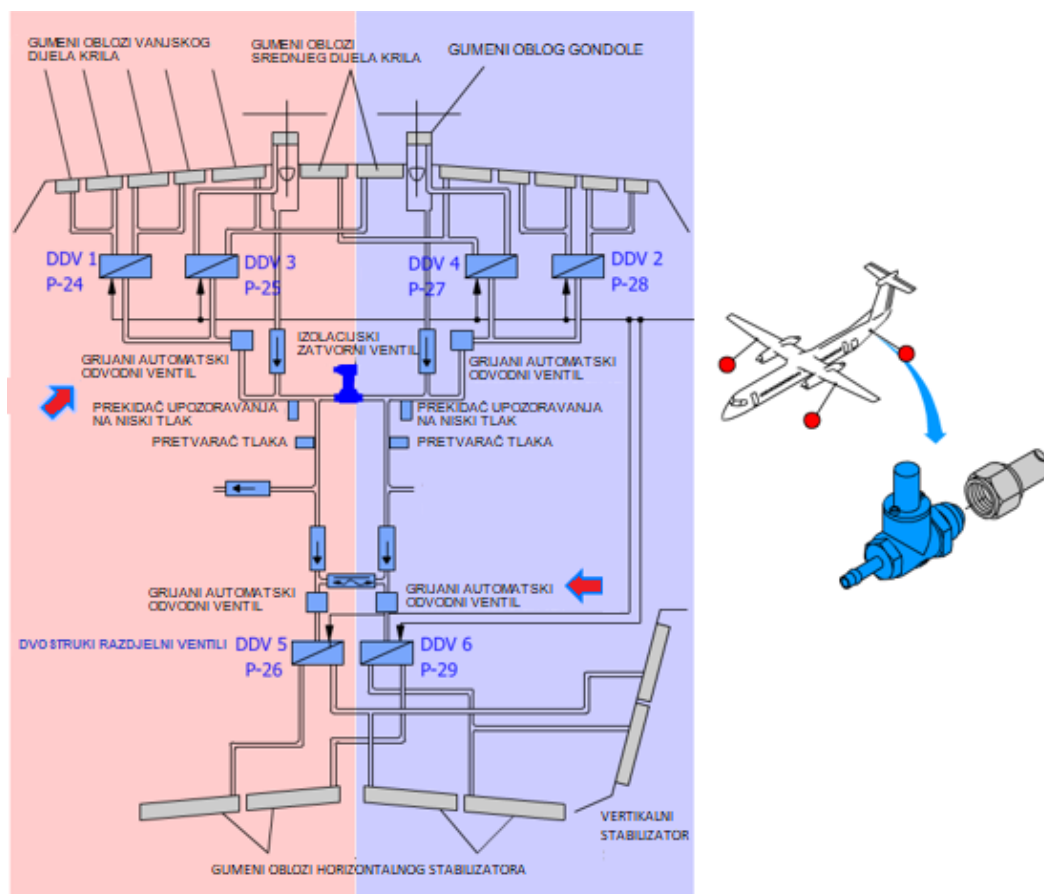


Slika 7: Izgled i smještaj dvostrukog razdjelnog ventila [12]

Sa slike je vidljivo da su dvostruki razdjelni ventili na pozicijama 3 i 4 odgovorni za dovod zraka unutar gumenih obloga smještenih na usisniku motora.

#### 4.2.2. Automatski odvodni ventil

Grijani automatski odvodni ventili (*Automatic Drain Valves – ADV*) sakupljaju vodu koja je kondenzirala u sustavu te ju odvođe kada tlak u sustavu padne ispod 20.7 kPa. Ventil se zatvara kako bi se izbjeglo curenje. Također, ventil je grijan kako bi se spriječilo zamrzavanje vode koja bi onemogućila normalan protok kroz ventil. Dva odvodna ventila smještena su u repu zrakoplova te po jedan u svakom krilu. Isto je vidljivo na slici 8. [12]



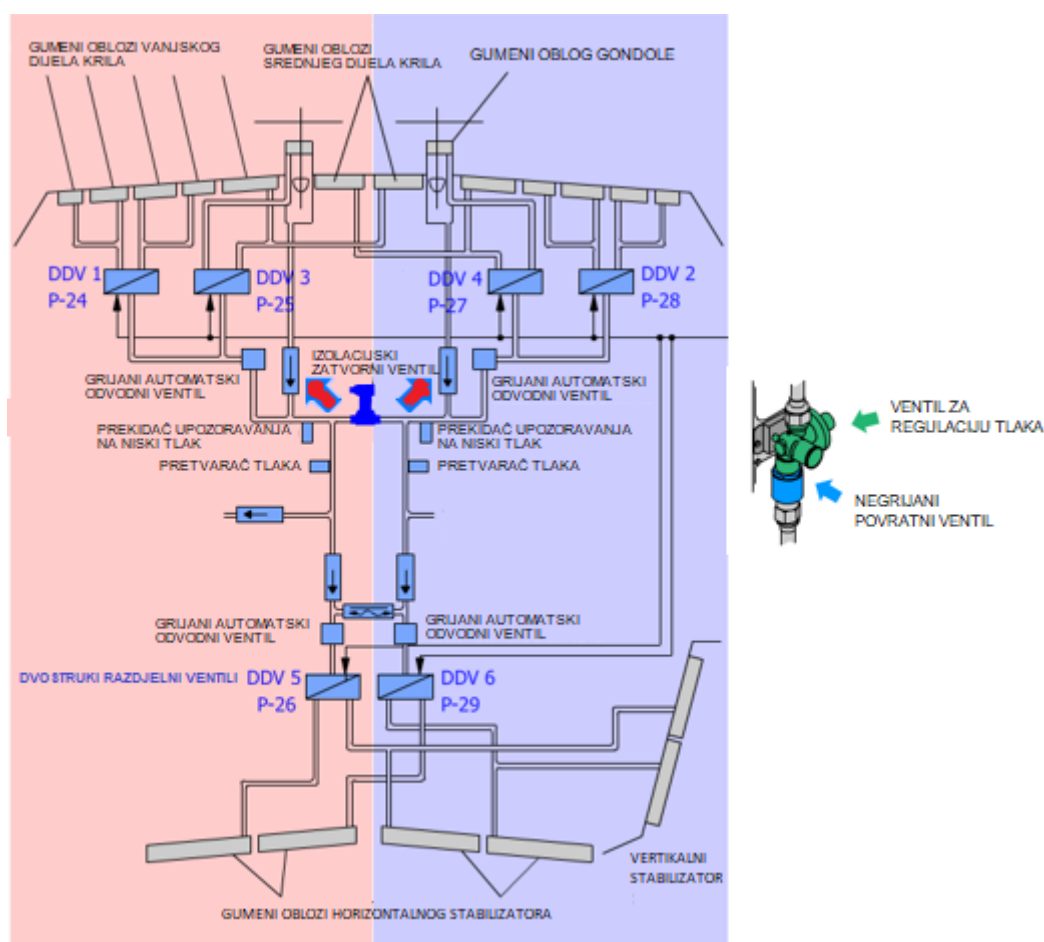
Slika 8: Izgled i smještaj automatskih odvodnih ventila [12]

#### 4.2.3. Ventil za regulaciju tlaka i negrijani povratni ventil

Ventil za regulaciju tlaka (*Pressure Regulating and Relief Valve – PRRV*) regulira tlak u skladu sa odvojenim zrakom (*Bleed Air*) te opskrbljuje sustav reguliranim, odnosno podešenim zrakom. Regulacija zraka odvija se koristeći membranu koja se otvara ili zatvara kako bi opskrbila sustav za odleđivanje konstantnim tlakom. U slučaju prevelikog tlaka u sustavu, otvor za oslobađanje

osigurat će pad tlaka. U slučaju kvara jednog PRRV-a, sustav će moći i dalje normalno raditi, no u slučaju kvara oba PRRV-a doći će do potpunog gubitka pneumatske zalihe zraka i odleđivanja.

Negrijani povratni ventili (*Non - Heated Check Valves – NHCV*) sprječavaju protok zraka iz drugog sustava da se vrati natrag u motor ukoliko dođe do kvara motora. U slučaju neispravnog negrijanog povratnog ventila, neće doći do otkaza sustava za odleđivanje ako oba motora rade. Slika 9. prikazuje smještaj navedenih ventila unutar konstrukcije zrakoplova. [12]

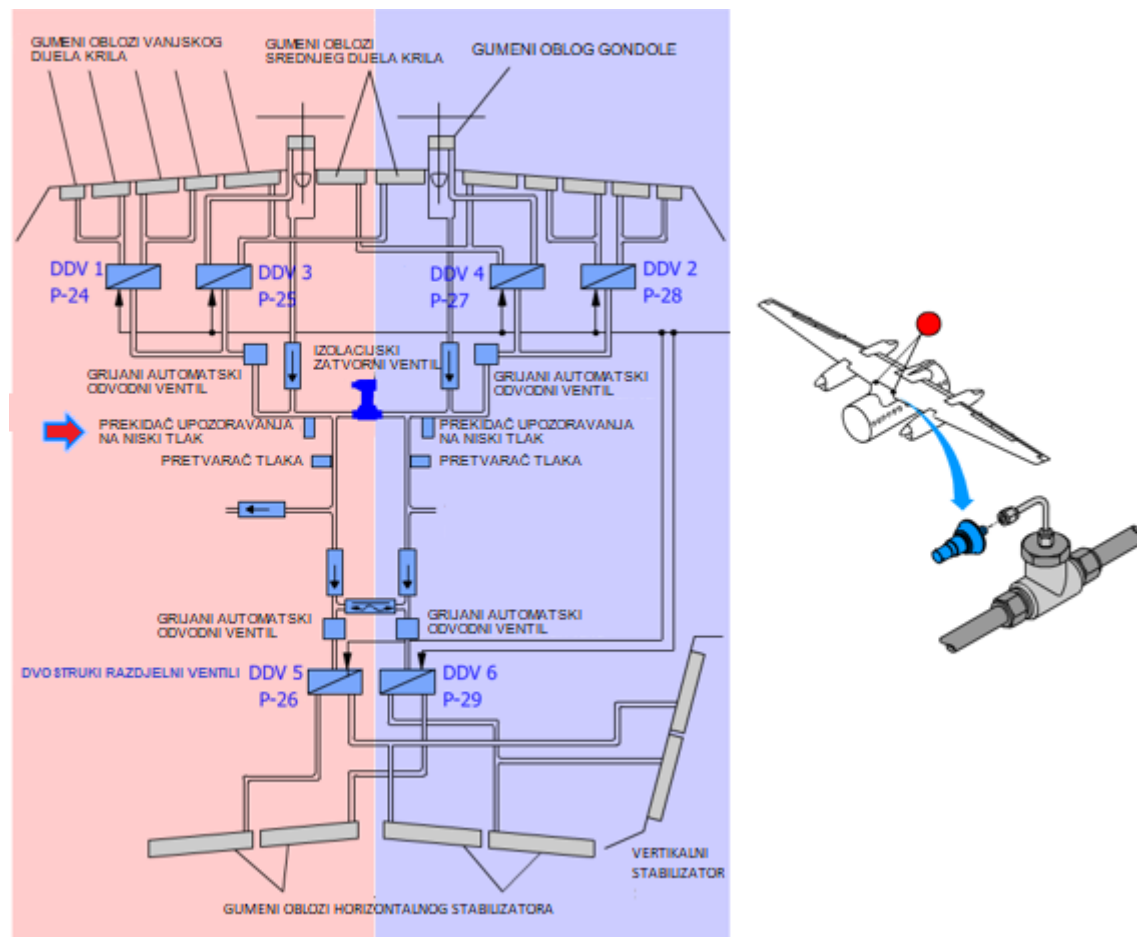


Slika 9: Smještaj i izgled ventila za regulaciju tlaka te negrijanog povratnog ventila [12]

#### 4.2.4. Prekidač za upozoravanje na niski tlak

Prekidač za upozoravanje na niski tlak (*Low Pressure Warning Switch – LPWS*) očitava niski tlak u sustavu te se zatvara kada je tlak niži od  $103.4 \pm 6.89$  kPa, a otvara se kada je tlak viši od 86.2 kPa. Prilikom zatvorenog stanja, šalju se signali

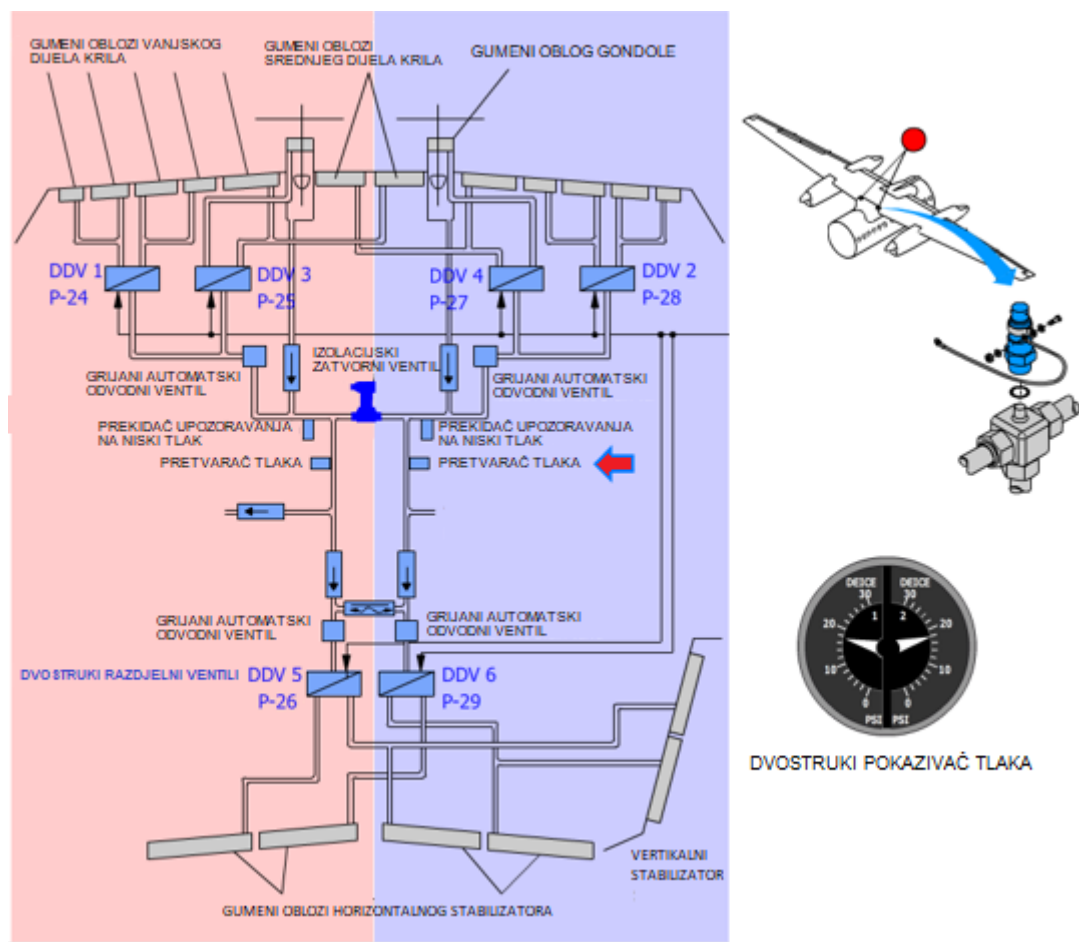
upozoravačkoj ploči kako bi se osvijetlila žaruljica upozorenja za prenizak tlak. Signal se također šalje jedinici nadzora i brojača (TMU) za potrebe održavanja. Na slici broj 10 mogu se vidjeti prekidači za upozoravanje na niski tlak. [12]



Slika 10: Smještaj i izgled prekidača za upozoravanje na niski tlak [12]

#### 4.2.5. Pretvarač tlaka

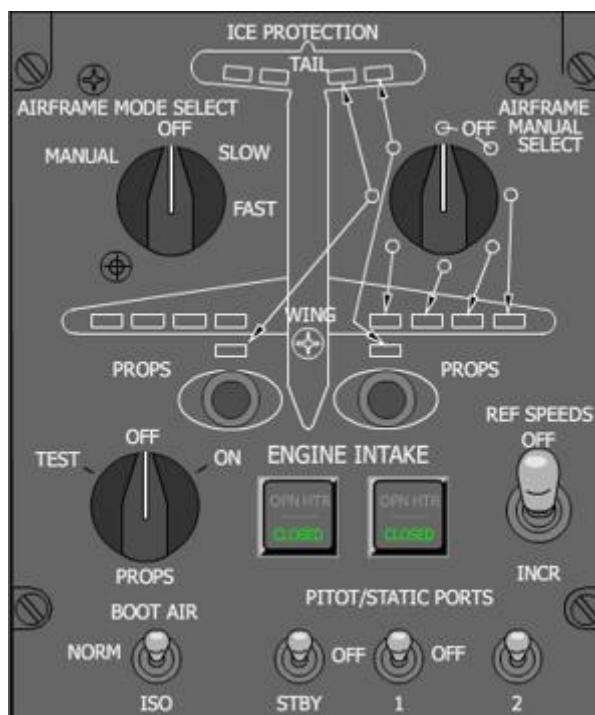
Pretvarači tlaka su senzori koji mjere razinu tlaka te šalju signale o izmjerenom tlaku na zaslon unutar pilotske kabine koji se prikazuje na dvostrukom pokazivaču prikazanom na slici 11. Slika 11. također prikazuje i smještaj pretvarača tlaka na zrakoplovu. [12]



Slika 11: Smještaj i izgled pretvarača tlaka te izgled dvostrukog pokazivača tlaka [12]

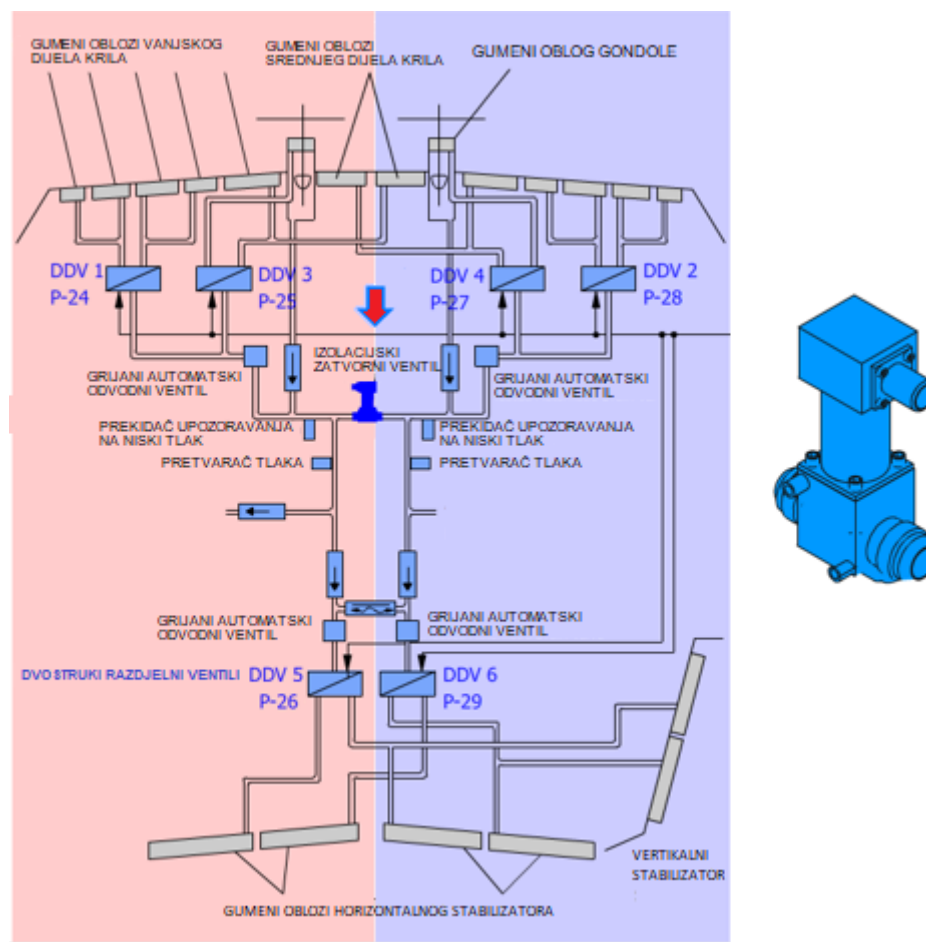
#### 4.2.6. Izolacijski zatvorni ventil

Izolacijski zatvorni ventil (*Isolation Shut - Off Valve – ISOV*) uobičajeno je zatvoren ako nije pod naponom kojeg dobiva prilikom pokretanja motora te se tada i automatski otvori. Uslijed gubitka tlaka sustava, ventil može zatvoriti posada kako bi se izolirale lijeva i desne strana sustava. Izolacija je električki upravljana koristeći „*BOOT AIR - ISO*“ prekidač na ploči za zaštitu od zaleđivanja, koja je prikazana na slici 12.



Slika 12: "*BOOT AIR - ISO*" prekidač na upravljačkoj ploči za zaštitu od zaleđivanja [12]

Prilikom kvara izolacijskog zatvornog ventila (ako ostane otvoren) sustav će moći normalno raditi. Ako pukne neka cijev sustava, a ventil ostane u kvaru otvoren, doći će do gubitka zalihe zraka. Prema tome, ako lijeva i desna strana sustava ne mogu ostati izolirane, ova kombinacija kvarova dovela bi do potpunog gubitka odleđivanja. Smještaj izolacijskog zatvornog ventila vidljiv je na slici 13. [12]



Slika 13: Smještaj i izgled izolacijskog zatvornog ventila [12]

### 4.3. Uklanjanje i instalacija gumenih obloga

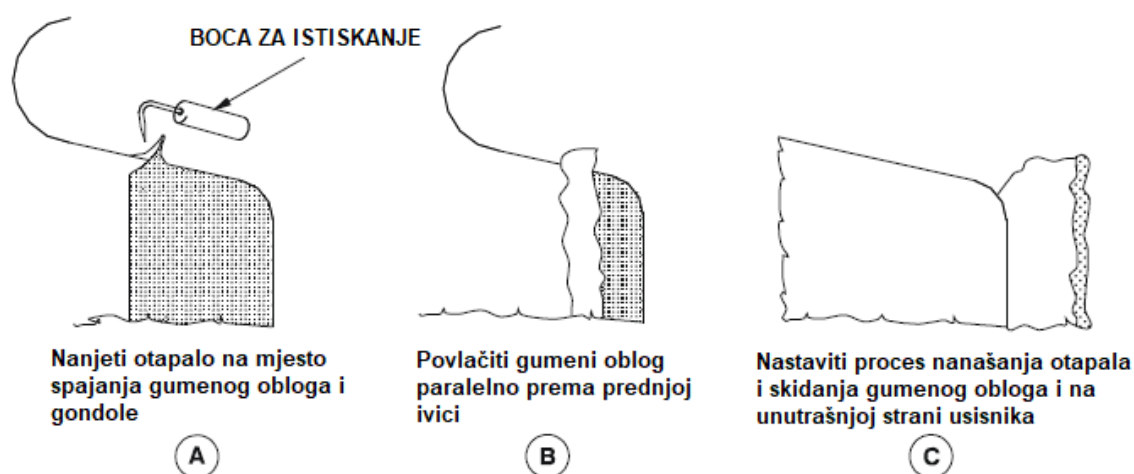
Uklanjanje i instalacija gumenih obloga gondole te pratećih crijeva prate proceduru održavanja koja se može primijeniti na sustave na lijevoj i desnoj strani. Procedure su sadržane u priručniku za održavanje zrakoplova (*Aircraft Maintenance Manual*). Navedene su sve procedure za lijevi sustav te ukoliko postoji razlika pri uklanjanju ili instalaciji gumenih obloga desnog sustava, ona je i naznačena.

Za aktivnosti uklanjanja te instalacije gumenih obloga, od alata i opreme potrebni su mnogi alati kao što su npr. nož za rezanje, gumeni i čelični valjci, četke za nanašanje maziva i sl. Osim toga, potrebni su i mnogi potrošni materijali poput otapala (uglavnom se koriste *Toluen* i *Peerco* otapala), boce za istiskanje otapala, ljepljive trake, adhezivi, brtvila, gumene rukavice, razne vrste tkanina itd.

Izrazito je bitno nositi odobrenu zaštitu za tijelo prilikom obavljanja aktivnosti uklanjanja/instalacije gumenih obloga, a naročito prilikom korištenja otapala. Opasno je ukoliko koža dođe u kontakt sa otapalima te ukoliko se plinovi otapala udišu jer su mnoga otapala otrovna. Također su i zapaljiva pa se posebna pozornost treba obratiti na mogućnost kontakta sa iskrama ili vatrom.

Kako bi se gumeni oblog mogao ukloniti te naknadno i instalirati, potrebno je ukloniti donji oklop gondole motora na kojemu se nalazi gumeni oblog. Uvijek je potrebno paziti da spojne površine, odnosno površina oklopa gondole na koji se postavlja gumeni oblog te unutrašnja strana površine gumenog obloga budu čiste i bez ikakvih nakupina prašine, čestica, dlačica od korištenih tkanina (iz tog razloga je izrazito bitno da se koriste tkanine koje ne ostavljaju dlačice) i sl. Ukoliko je površina čista, ona se ne smije dirati golim rukama iz razloga što bi se na taj način ponovo onečistila.

Procedura uklanjanja gumenih obloga može se vidjeti na slici 14.



**Slika 14: Pojednostavljeni prikaz procesa uklanjanja gumenih obloga [14]**

Dakako, prije instalacije novog gumenog obloga treba provjeriti ispravnost novog obloga, odnosno ima li gdje pukotina (npr. priključak za zrak propušta zrak), jesu li vidljive neke ogrebotine ili poderotine na površini obloga koje bi mogle utjecati na ispravnost obavljanja funkcija odleđivanja te je potrebno provjeriti rok trajanja koji ne bi trebao biti duži od životnog vijeka gumenog obloga (9 godina unutar pakiranja).



Adheziv se nanaša na spojne površine bez pretjeranog razmazivanja četkom, te treba biti nanesen što ujednačenije na sve spojne površine. On može biti nanesen na spojne površine maksimalno 48 sati pod uvjetom da su površine prije instalacije prekrivene čistim *kraft* papirom i čiste.

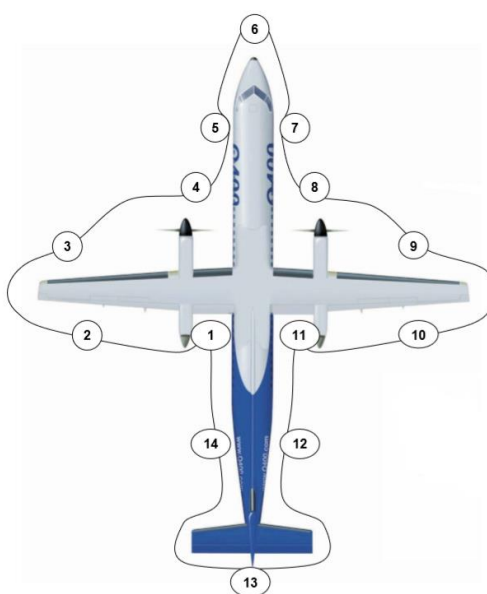
Prilikom same instalacije bitno je da se gumeni oblog stavi na oklop gondole na ispravan način, odnosno da ne bude dislociran ili instaliran na način koji bi mogao doprinijeti narušenoj plovidbenosti zrakoplova. Ukoliko je instalacija gumenog obloga gotova, slijedi vraćanje donjeg oklopa usisnika natrag na sam usisnik motora.

#### 4.4. Održavanje gumenih obloga u sustavu za odleđivanje usisnika motora

Održavanje komponenata gumenih obloga unutar sustava za odleđivanje usisnika motora provodi se na više razina kako bi se osigurala maksimalna ispravnost navedenih komponenti te održala prihvatljiva razina sigurnosti u skladu sa zahtijevanim standardima.

##### 4.4.1. Provjera prilikom obilaska zrakoplova - „Walk Around Check“

Svaka provjera linijskog održavanja sadrži obilazak oko zrakoplova hodajući na način prikazan na slici 15.



Slika 15: "Walk Around Check" [8]

Provjera prilikom obilaska oko zrakoplova izvodi se redom:

1. Glavno podvozje lijeve strane zrakoplova
2. Izlazna ivica lijevog krila
3. Napadna ivica lijevog krila
4. Motor br. 1
5. Prednji dio trupa zrakoplova na lijevoj strani
6. Nos trupa i podvozje na dijelu nosa trupa
7. Prednji dio trupa zrakoplova na desnoj strani
8. Motor br. 2
9. Napadna ivica desnog krila
10. Izlazna ivica desnog krila
11. Glavno podvozje desne strane zrakoplova
12. Stražnji dio trupa zrakoplova na desnoj strani
13. Rep zrakoplova
14. Stražnji dio trupa zrakoplova na lijevoj strani

Prilikom ovakve vrste provjere, provjerava se ispravnost gumenih obloga u smislu vanjskog oštećenja te postoje li neki znakovi na komponenti koji bi ukazali na narušavanje sigurnosti. Zahtijeva se da se sve pronađene neispravnosti prijave te da se poduzmu odgovarajuće korektivne radnje. Ukoliko vremenske prilike podržavaju uvjete zaleđivanja potrebno je pregledati postoje li naslage snijega ili leda na komponentama te se iste uklanjaju ukoliko je potrebno. [8]

#### **4.4.2. Zimski program**

Gumeni oblozi su komponenta koja se koristi prilikom zimskih uvjeta zaleđivanja te su iz tog razloga subjektom dijela programa održavanja vezanog za operacije u hladnim vremenskim uvjetima. Uz gumene obloge, navedenom djelu programa održavanja podložna su i vrata zrakoplova. Također, tokom zimskih uvjeta potrebno je i osigurati dodatan tepih u području ulaska u zrakoplov, isprazniti vodu iz sanitarnih odjeljaka kako se ne bi zaledila tokom noći te osigurati pokrivače za zrakoplov tokom noćnih stajanja.

Početak zimske sezone trebalo bi provesti slijedeće zadatke:

1. Operativni pregled zalihe zraka u sustavu za odleđivanje (301100-201)
2. Operativni pregled sustava držanja (*Hold Down System*) u sustavu za odleđivanje (301100-202)
3. Operativni pregled grijanog kontrolnog ventila u zadnjem dijelu trupa zrakoplova unutar sustava za odleđivanje (301100-203)
4. Operativni pregled zatvornog ventila izolacije sustava za odleđivanje (301100-204)
5. Operativni pregled sustava za odleđivanje u ručnom modu (301100-205)
6. Operativni pregled opreme za zagrijavanje konstrukcije zrakoplova u ručnom modu (301100-206)
7. Detaljna vizualna inspekcija gumenih obloga radi otkrivanja oštećenja (301100-207)
8. Isušivanje zračnih vodova sustava za odleđivanje horizontalnog stabilizatora (301100-208) [8]

Svaki od pregleda posjeduje odgovarajuću deseteroznamenkastu oznaku po kojoj su prepoznati unutar ATA 100 konvencije. Prvi dio te oznake sustava za odleđivanje je 301100, dok ga prate spojnice te završne oznake ovisno o zadatku. Zadaci operativnih pregleda sustava držanja (*Hold Down System*) te opreme za zagrijavanje konstrukcije zrakoplova u ručnom modu sadržani su i unutar operativnog pregleda sustava za odleđivanje u ručnom modu.

Nakon svakog zimskog perioda, gumene obloge treba očistiti. Čišćenje također treba provesti u slučaju kada budu pronađeni tragovi maziva i ulja na oblozima.

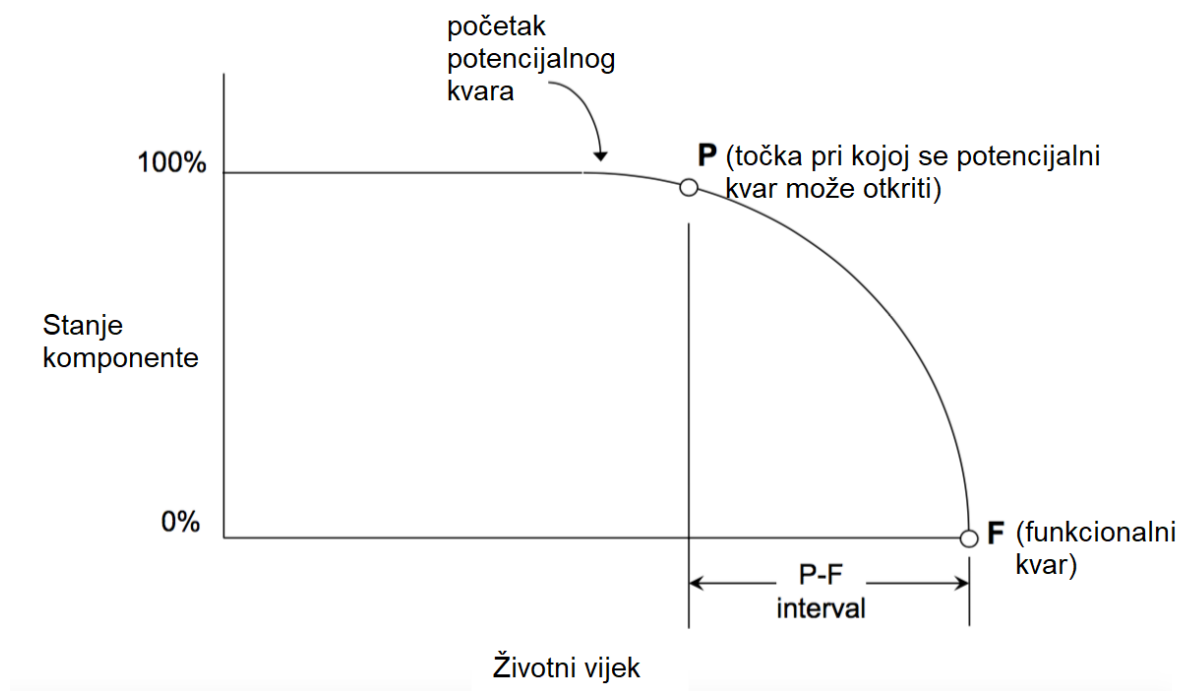
## **5. MODELI I METODE ZA ODREĐIVANJE INTERVALA ZAMJENE KOMPONENATA ZRAKOPLOVA**

Komponente zrakoplova održavaju se prema zatečenom stanju ili prema određenom zadanom fiksnom intervalu. Za određivanje intervala koriste se različiti kriteriji koji uglavnom ovise o otkrivanju oštećenja i predvidivosti otkaza. Pravilno planiranje održavanja, onog prema zatečenom stanju ili pak prema zadanom intervalu te planiranje popravaka i zadataka, izrazito je bitno jer nekvalitetno planiranje može dovesti do gubitaka. Gubici se očituju i na poslovanje zračnog prijevoznika, ali i na putnike. Zračni prijevoznik će imati zrakoplove na produženom vremenu održavanja i smanjene dostupnosti što na posljétku uvelike utječe i na troškove. Iz istih razloga dolazit će do kašnjenja i/ili otkazivanja letova što uvelike utječe na zadovoljstvo putnika. Prema tome, svim zračnim prijevoznicima u cilju je minimizirati troškove održavanja jer održavanje osigurava zadovoljavajuću pouzdanost sustava koja je izrazito bitna za uspješno poslovanje.

Kod preventivnog održavanja unaprijed se određuju fiksni intervali održavanja tj. obavljanja zadataka na temelju statističkih podataka i/ili poznavanja povijesnih podataka. Ono se veže na broj sati rada (broj sati naleta, broj ciklusa, kalendarsko vrijeme, broj slijetanja) [15]. Izvode se zadaci koji vraćaju ispravnost komponentama ili ih zamjenjuju unutar točno definiranog vremena kako bi se smanjila vjerojatnost funkcionalnog kvara te kako bi im se produljio životni vijek [16]. Ukoliko do otkaza dođe prije definiranog intervala za održavanje, preventivno održavanje može dovesti do dodatnih troškova.

Održavanje prema zatečenom stanju, odnosno u trenutku kada se za to ukaže potreba, izvodi se kada pojedini pokazatelji daju naznaku da će doći do kvara određenog sustava ili komponente, odnosno kada pokazatelji ukažu na pad performansi uređaja. Danas se održavanje prema stanju primjenjuje kad god je to tehnički i ekonomski razumno, odnosno kada to zahtijevaju pravila o sigurnosti uređaja. Dakle, ono nije planirano te je takvom održavanju namjera da sustav u procesu koji ide ka kvaru, ili već je u kvaru, dovede u ispravno stanje kroz popravak ili kroz zamjenu određenih komponenata. Neki od zadataka mogu biti opće vizualne inspekcije, nadzor od strane posade ili operatera zrakoplova, funkcionalne provjere ili

nadzor stanja (*Condition Monitoring* - CM) sa senzorima na zrakoplovu koji mjere neke trendove i granice. Može se reći da su zadaci *On Condition* održavanja oni koji omogućuju otkrivanje stanja koje ukazuje na neposrednu pojavu funkcionalnog neuspjeha. Starost sustava ili komponente pri kojoj se takvo stanje može identificirati prikazano je na slici 16. kao točka P, koja se još naziva točka potencijalnog neuspjeha. [16]



**Slika 16: Životni vijek i točka potencijalnog neuspjeha – P, pri kojoj potencijalni kvar postaje uočljiv [16]**

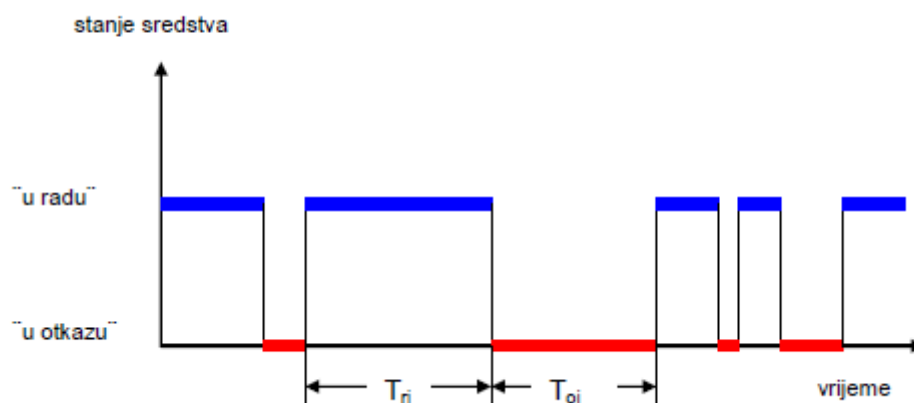
Na slici je prikazan grafikon odnosa životnog vijeka određenog sustava ili komponente te stanja pouzdanosti komponente. Linija životnog vijeka komponente ili sustava je u njegovom početku uporabe jednolika i konstantna, kao što je to i očekivano, no u određenom trenutku dolazi do početka potencijalnog kvara koji nije odmah prepoznatljiv i vidljiv. Tek se pri točki P može reći da će potencijalni kvar biti moguće uočiti. Za vrijeme životnog vijeka unutar točke F, funkcionalni kvar već je nastupio i komponenta je otkazala.

Gumeni oblozi u sustavu odleđivanja usisnika motora održavaju se po zatečenom stanju, odnosno oni nemaju fiksne intervale nakon kojih bi slijedio popravak tj. zamjena, već se pri svome kvaru ili znakovima koji ukazuju na nedovoljnu pouzdanost

komponente oni uklanjaju te slijedi instalacija novih i ispravnih gumenih obloga. Način održavanja gumenih obloga definiran je u Programu održavanja.

### 5.1. Matematičke metode za određivanje intervala zamjene komponenata

Zrakoplov u eksploataciji može biti u „stanju rada“ ili u „stanju otkaza“. Prilikom „stanja otkaza“ zrakoplov je zapravo na održavanju, odnosno tehnička služba provodi aktivnosti popravka komponenti koje su došle do stanja funkcionalne neispravnosti. Za takve popravljive komponente ili sustave se u analiziranom periodu eksploatacije izmjenjuju vremena korištenja zrakoplova kao što je to prikazano na slici 17. [6]



Slika 17: Stanja otkaza i rada [6]

Apscisa predstavlja vrijeme eksploatacije zrakoplova dok je na ordinati vidljivo stanje sredstva koje može biti „u radu“ ili „u otkazu“. Plavom linijom označena su ona vremena za koja je zrakoplov dostupan za uporabu, odnosno za obavljanje radnih aktivnosti dok su crvenom linijom označeni periodi unutar kojih je zrakoplov nedostupan jer provodi vrijeme na održavanju. Za vrijeme  $T_{ri}$  zrakoplov je u uporabi, a za vrijeme  $T_{oi}$  zrakoplov je na održavanju.

Na temelju toga može se definirati srednje vrijeme između otkaza (*Mean Time Between Failure* - MTBF) koje se definira za komponente koje su popravljive:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ri}}{n}$$

gdje je:

$T_{ri}$  – trajanje  $i$  - tog razdoblja ispravnog rada,

$n$  – ukupan broj otkaza. [6]

Za nepopravljive komponente, odnosno one koje nakon svog otkaza moraju biti uklonjene i zamijenjene definira se srednje vrijeme do otkaza (*Mean Time To Failure* - MTTF):

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^n T_{FH}}{n}$$

gdje je:

$T_{FH}$  – vrijeme rada do otkaza  $i$  - tog sredstva,

$n$  – broj promatranih sredstava. [6]

Iz razloga što su gumeni oblozi komponente koje nisu popravljive, primjena MTBF-a ne bi bila od velike koristi. Gumeni oblozi su komponente koje, jednom kada dođu do svog funkcionalnog otkaza, moraju biti uklonjene te zamijenjene. Također bitno je uzeti u obzir da su održavane prema zatečenom stanju. Zbog navedenog MTTF je parametar koji će se promatrati u daljnjoj razradi.

## 5.2. Pouzdanost

Pouzdanost nekog sredstva može se definirati kao vjerojatnost da će to sredstvo bili sposobno izvršiti radni zadatak unutar određenih uvjeta i određenog vremena. Najveća pouzdanost koju neki sustav ili sredstvo može postići definirana je pri samom procesu dizajna i proizvodnje istoga. Od sredstva se ne može očekivati veća pouzdanost od one koja je inicijalno definirana dizajnom i proizvodnjom. [17]

Uz tri osnovna zadana uvjeta; zadane funkcije, zadanih uvjeta i određenog vremenskog perioda, pouzdanost se može izraziti preko matematičkog oblika:

$$R(t) = P(T > t)$$

gdje je:

$R(t)$  – pouzdanost unutar određenog vremena,

$P$  – vjerojatnost funkcije,

$T$  – vrijeme rada bez otkaza i

$t$  – određeno promatrano vrijeme. [6]

Dakle pouzdanost je vjerojatnost da će vrijeme rada bez otkaza biti veće od određenog promatranog vremena. Pouzdanost se može definirati i kao statistički procijenjena vrijednost ukoliko se definiraju parametri broja elemenata na početku eksploatacije te broj otkazalih elemenata do određenog vremena  $t$ :

$$R(t) = \frac{n - N(t)}{n}$$

gdje je:

$R(t)$  – pouzdanost unutar određenog vremena,

$n$  – broj elemenata na početku eksploatacije ( $t = 0$ ) i

$N(t)$  – broj otkazalih elemenata do vremena  $t$ . [6]

### 5.3. Weibull-ova distribucija

Statističke distribucije kao što je to *Weibull*-ova distribucija, prilikom procjene pouzdanosti neke komponente ili sistema, koriste se za pronalazak trendova u podacima održavanja, odnosno u podacima o otkazima. Iz razloga što koriste podatke o otkazima nazivaju se „Metode temeljene na iskustvu“. Podaci koje koriste sadrže rezultate temeljene na prošlim iskustvima preko kojih se može predviđati pouzdanost za neke buduće trenutke. [16]

*Weibull*-ova distribucija korištena je u širokom spektru analiza podataka, naročito pri inženjeringu pouzdanosti zbog svoje prilagodljivosti i jednostavnosti.

Troparametarska *Weibull*-ova funkcija raspodjele intenziteta otkaza iznosi:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} (t - \gamma)^{\beta-1}$$



gdje je:

$\lambda(t)$  – intenzitet otkaza unutar promatranog vremena,

$\beta$  – faktor oblika,

$\alpha$  – faktor skale i

$\gamma$  – parametar zavisen od prvog otkaza.

Za troparametarsku raspodjelu parametar pouzdanosti jednak je:

$$R(t) = e^{\frac{(t-\gamma)^\beta}{\alpha}}$$

*Weibull*-ova raspodjela s tri parametara se koristi ukoliko imamo podatke o otkazima gdje oni ne počinju s vremenom  $t = 0$ , već nakon nekog određenog vremenskog perioda ( $\gamma$ ). [18]

Podaci o otkazima odabranog zračnog prijevoznika promatrat će se na način da će se koristiti dvoparametarska *Weibull*-ova raspodjela koja je i najčešće korištena jer se parametar zavisen od prvog otkaza u mnogim slučajevima ne koristi i svodi se na nulu.

Pouzdanost za dvoparametarsku *Weibull*-ovu raspodjelu glasi:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

Postoji i oblik *Weibull*-ove funkcije koja je zapravo jednoparametarska, a jedina razlika između jedno i dvoparametarske raspodjele je u tome što se pri jednoparametarskoj pretpostavlja da je vrijednost  $\beta$  unaprijed poznata. [19]

## **6. PROMJENA NAČINA ODRŽAVANJA KOMPONENTE SA „ODRŽAVANJE PREMA STANJU“ (*ON CONDITION*) U „ODRŽAVANJE PREMA FIKSNIM INTERVALIMA“ (*HARD TIME*)**

Promjena načina održavanja ili sama promjena intervala održavanja može dovesti do smanjenja pouzdanosti na razinu neprihvatljivu za odvijanje sigurnog leta. Iz tog razloga bitno je poznavati mehanizme otkaza i pouzdanosti. Neki dijelovi Programa održavanja ni ne dopuštaju promjene takve vrste jer predstavljaju samu jezgru zrakoplovne sigurnosti. [16]

Uz znanje o sadržaju i načinu izrade Programa održavanja te tome kako regulativa i sudionici utječu na Program održavanja, politika održavanja može se uklopiti u proces promjene načina održavanja ili intervala održavanja.

### **6.1. Parametri bitni pri određivanju pogodnog intervala preventivne zamjene**

Bitni parametri koji će se promatrati u daljnjoj analizi temeljeni su na statističkim podacima odabranog zračnog prijevoznika te na proizvoljno određenim vrijednostima potrebnima za daljnje proračune i razmatranje problema.

Statistički podaci odabranog zračnog prijevoznika su:

- Promatrani vremenski period od 3 godine.
- Podaci o ukupnim FH promatranih komponenata gumenih obloga prikazani u tablici 2.
- Podaci o vrijednostima vremena u radu komponenata u trenutku otkaza (*Time Since New* - TSN) za pojedinu otkazalu komponentu unutar promatranog perioda vidljive u tablici 3.

Proizvoljno određeni parametri koji će se koristiti u analizi troškova su:

- Trošak AoG ( $C_{AoG}$ ) = 40000 n.j. (novčane jedinice).
- Trošak jedne komponente gumenog obloga = 4000 n.j.

## 6.2. Proračun pogodnog MTTF-a za komponente gumenih obloga koristeći distribuciju otkaza i kumulativnu distribuciju otkaza

### 6.2.1. MTTF

MTTF predstavlja očekivano vrijeme kvara nekog nepopravljivog sustava. Računa se na način da se odredi ukupno vrijeme koje su komponente provele u radu te se ono podijeli sa brojem otkaza. Ukupno vrijeme koje su komponente provele u radu za promatrani period od 3 godine predstavlja zbroj ukupnih FH pojedinog zrakoplova iz flote odabranog zračnog prijevoznika. Također treba uzeti u obzir činjenicu da je svaki zrakoplov iz flote opremljen sa dvije komponente gumenih obloga što znači da flota odabranog zračnog prijevoznika, koja sadrži 6 zrakoplova Dash 8 – Q400, sadrži i 12 komponentata gumenih obloga. Može se reći da svaki zrakoplov iz flote sadrži jedan par gumenih obloga, odnosno da cijela flota sadrži 6 pari gumenih obloga.

Statistički podaci odabranog zračnog prijevoznika baziraju se na vremenskom periodu od 3 godine u razdoblju od 2014. do 2017. godine. Ukupan broj FH za svih 6 zrakoplova iz flote odabranog zračnog prijevoznika prikazan je u tablici 2.

Tablica 2: Ukupan broj FH po određenom zrakoplovu iz flote odabranog zračnog prijevoznika

Zrakoplov	Total FH
AB	7468
CD	7575
EF	7299
GH	7548
IJ	7534
KL	7643

Koristeći formulu za izračun MTTF-a:

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^n T_{FH}}{n}$$

i koristeći statističke podatke iz tablice 2 gdje je:

$$T_{FH} = 45067 * 2 = 90134 \text{ FH i}$$

$$n = 14 ,$$

te je bitno napomenuti da svaki zrakoplov sadrži po dvije komponente gumenih obloga što se mora uzeti u obzir prilikom izračuna ukupnih sati leta komponenata u promatranom periodu, može se dobiti:

$$MTTF = \frac{90134}{14} = 6438.14 FH$$

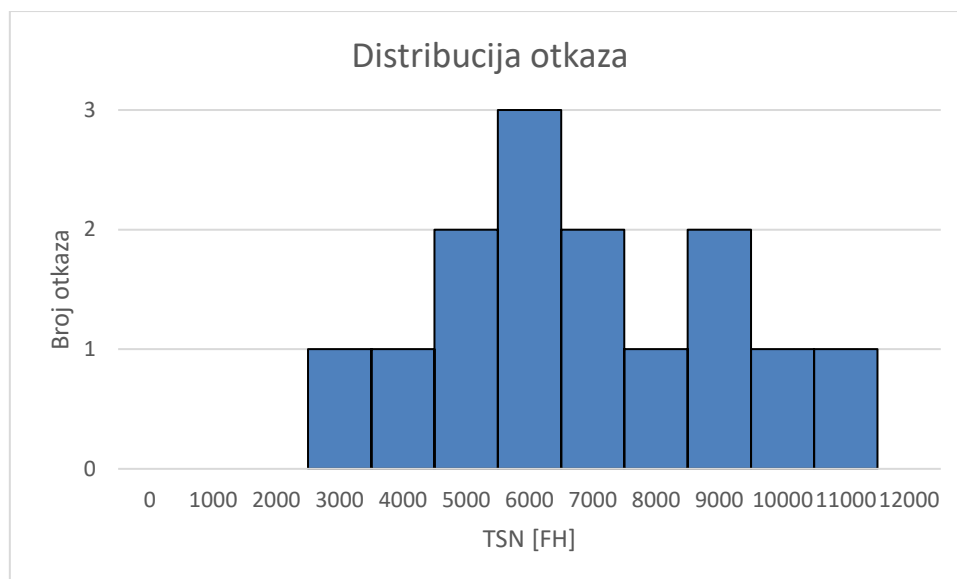
Ukoliko se ovaj podatak usporedi sa tablicom 3 koja prikazuje broj uklanjanja komponenata gumenih obloga u promatranom periodu od 3 godine te njihov životni vijek (TSN), odnosno vrijeme od kada je komponenta u potpuno novom stanju instalirana na zrakoplov do njenog funkcionalnog otkaza, može se zaključiti da će doći do 5 otkaza prije vrijednosti MTTF-a, te do 9 otkaza nakon MTTF-a.

**Tablica 3: TSN za svaku uklonjenu komponentu od najmanje do najveće vrijednosti**

Redni broj uklanjanja komponente	TSN
1	3211
2	4258
3	5086
4	5455
5	6282
6	6624
7	6874
8	7397
9	7669
10	8129
11	9076
12	9244
13	10224
14	11619

### 6.2.2. Distribucija otkaza i kumulativna distribucija otkaza

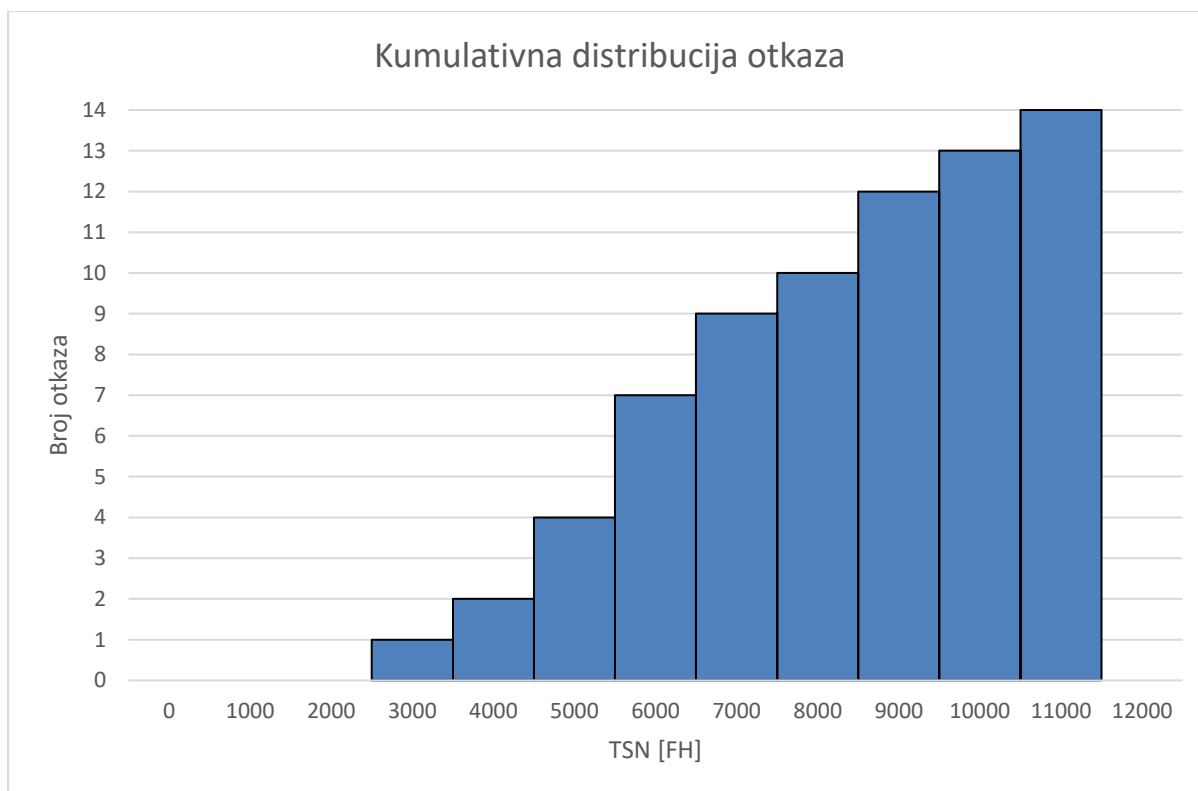
Uz pomoć statističkih podataka o otkazima komponenata te vrijednosti TSN-a za svaku od 14 otkazalih komponenti gumenih obloga može se dobiti distribucija otkaza (*Failure Distribution* - FD) za flotu odabranog zračnog prijevoznika unutar promatranog perioda. Distribucija otkaza prikazana je na grafu 1.



**Graf 1: Distribucija otkaza**

Graf prikazuje distribuciju otkaza za svakih 1000 FH koristeći statističke podatke o stvarnim otkazima odabranog zračnog prijevoznika iz tablice 3. Apscisa prikazuje TSN komponentata gumenih obloga u vrijednostima od 0 do 12000 FH, dok je na ordinati broj otkaza po pojedinom intervalu od 1000 FH. Vidljivo je da u periodu od 0 do TSN-a od 3000 FH nije bilo otkaza komponente, a prva komponenta je otkazala u periodu od 3000 do 4000 FH. Najviše komponentata, njih 3, otkazalo je u periodu između 6000 i 7000 FH. Također, vidljivo je da je najčešće otkazivala po jedna komponenta unutar intervala od 1000 FH.

Uz pomoć statističkih podataka o TSN-u može se dobiti kumulativna distribucija otkaza (*Cummulative Failure Distribution* - CFD) za svih 14 otkazalih komponenti kao što je prikazano na grafu 2.



**Graf 2: Kumulativna distribucija otkaza**

Na grafu 2 vidljiv je kumulativni porast otkaza komponenti u odnosu na vrijednosti TSN-a iz tablice 3. Najveći porast u broju otkaza uočljiv je na intervalu od 6000 do 7000 FH unutar kojeg su otkazale peta, šesta i sedma komponenta u promatranom periodu od 3 godine. U intervalu od 11000 do 12000 FH otkazala je i zadnja, četrnaesta komponenta promatranog razdoblja.

### 6.2.3. Proračun pogodnog MTTF-a

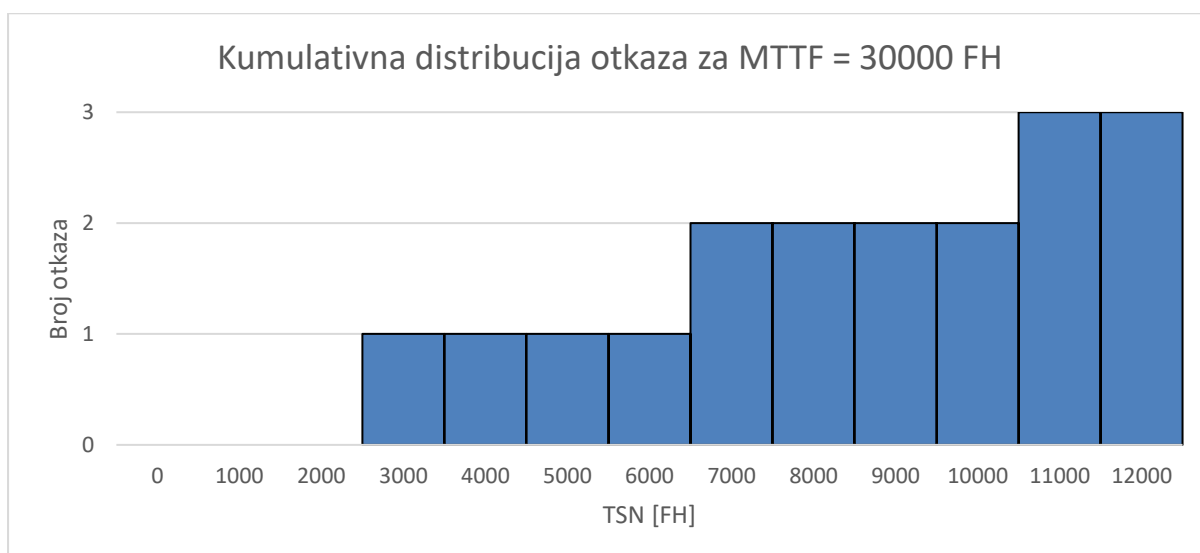
Ovisno o proizvoljno odabranim vrijednostima MTTF-a, uz već poznatu vrijednost ukupnih FH komponenata *Boots*-a koja iznosi 90134 FH, može se dobiti broj otkaza koji bi nastupio u promatranom periodu od 3 godine unutar ukupnih FH komponenata. Rezultati su prikazani u tablici 4.

Tablica 4: Broj otkaza u odnosu na odabranu vrijednost MTTF-a

MTTF [FH]	Broj otkaza
6438.14	14
10000	9
20000	$4.5 \approx 5$
30000	3
40000	$2.25 \approx 3$
50000	$1.8 \approx 2$
70000	$1.3 \approx 2$
90000	1

Ako se u razmatranje uzmu vrijednosti gdje je MTTF jednak 30000 i 50000 FH te broj otkaza po odabranim vrijednostima od 3 i 2 otkaza, mogu se dobiti grafovi kumulativne distribucije po određenim razmatranim slučajevima. Maksimalno vrijeme u radu komponente u trenutku otkaza prema statističkim podacima odabranog zračnog prijevoznika iznosi 11619 FH, a aproksimirani TSN od 12000 FH uzet će se radi jednostavnijeg proračuna.

Graf 3, koji prikazuje kumulativnu distribuciju za MTTF od 30000 FH, može se vidjeti niže:



Graf 3: Kumulativna distribucija otkaza za MTTF = 30000 FH

Ukoliko bi MTTF iznosio upravo 30000 FH došlo bi do 3 otkaza unutar ukupnog broja FH koje prelete komponente gumenih obloga unutar promatranog perioda od 3

godine. To bi značilo da bi sveukupno došlo do 3 iznenadna otkaza koji bi uzrokovali AoG te trošak istoga:

$$C_{AoG} = 3 * 40000 = 120000 \text{ n.j.}$$

gdje je:

$C_{AoG}$  – trošak AoG.

Iz grafa je vidljivo da bi po jedan otkaz nastupio prije svakih 4000 FH te ukoliko se upravo vrijednost od 4000 FH uzme kao interval preventivne zamjene, unutar ukupnih FH komponenata gumenih obloga došlo bi do 22.5 ( $\approx 23$ ) preventivnih zamjena za koje bi ukupni trošak preventivnog održavanja iznosio 92000 n.j.:

$$C_P = \frac{90134}{4000} * 4000 \approx 23 * 4000 = 92000 \text{ n.j.}$$

gdje je:

$C_P$  – trošak preventivnog održavanja.

Dakle, ukupan trošak za MTTF od 30000 FH bio bi:

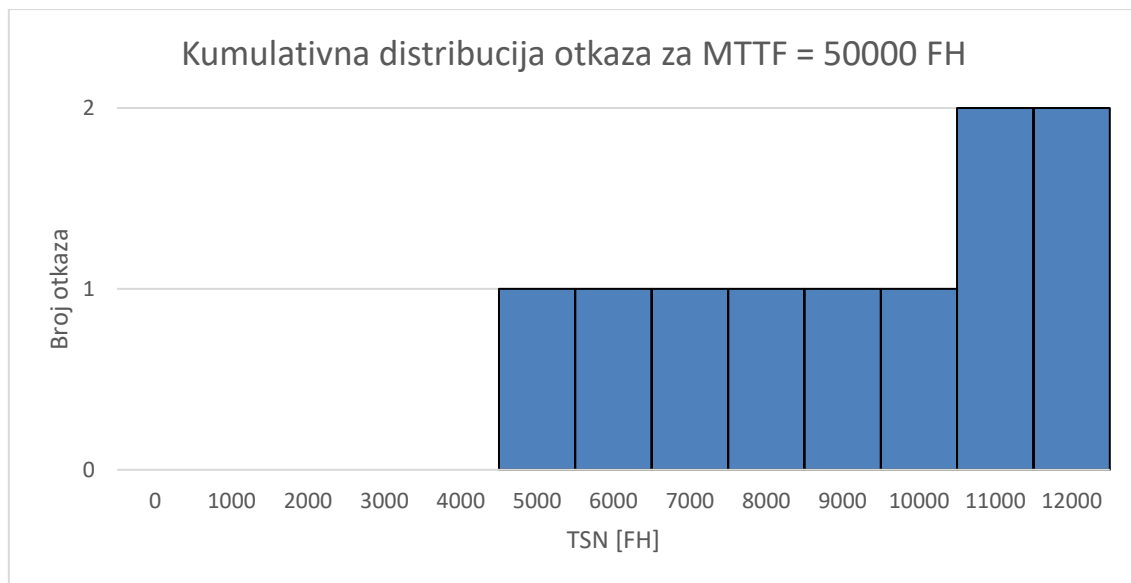
$$C_{UK} = C_{AoG} + C_P = 120000 + 92000 = 212000 \text{ n.j.}$$

gdje je:

$C_{UK}$  – ukupni trošak održavanja.

Za sljedeći slučaj gdje je MTTF jednak 50000 FH kumulativna distribucija otkaza prikazana je na grafu 4:





**Graf 4: Kumulativna distribucija otkaza za MTTF = 50000 FH**

Za navedeni MTTF komponenta bi otkazala prije svakog 6000 FH te bi ukupni trošak AoG sa 2 otkaza bio 80000 n.j.:

$$C_{AoG} = 2 * 40000 = 80000 \text{ n.j.}$$

Kako bi komponenta otkazala prije svakog 6000 FH, ukoliko se ta vrijednost uzme za predloženi interval preventivnog održavanja došlo bi do 15.02 ( $\approx 15$ ) preventivnih zamjena unutar promatranog ukupnog vremena leta komponenata te bi trošak iznosio 60000 n.j.:

$$C_P = \frac{90134}{6000} * 4000 \approx 15 * 4000 = 60000 \text{ n.j.}$$

Ukupni trošak bi dakle bio:

$$C_{UK} = C_{AoG} + C_P = 80000 + 60000 = 140000 \text{ n.j.}$$

Može se zaključiti da se s većim MTTF-om ukupni troškovi smanjuju te bi to predstavljalo bolje i ekonomičnije poslovanje za zračnog prijevoznika no prema statističkim podacima stvarni i realni MTTF jednak je 6438.14 FH te isti predstavlja

ukupno 14 iznenadnih otkaza komponenata pri promatranom periodu od 3 godine. Kako komponente gumenih obloga nisu održavane planirano unutar određenih intervala, već prema zatečenom stanju, može se zaključiti da je ukupan trošak zrakoplovnog prijevoznika u promatranom razdoblju bio jednak:

$$C_{UK} = C_{AoG} = 14 * 40000 = 560000 \text{ n.j.}$$

odnosno sumi 14 otkaza koji su uzrokovali AoG bez troškova preventivnih održavanja.

Sumirajući podatke o troškovima obzirom na odabrani MTTF, unutar tablice 5 može se zaključiti da bi primjenom preventivnog održavanja došlo do smanjenja ukupnih troškova. Također, veći MTTF je poželjan za svaku komponentu, no to u realnosti najčešće nije tako.

**Tablica 5: Troškovi u odnosu na odabrane vrijednosti MTTF-a**

MTTF [FH]	$C_{AoG}$	$C_P$	$C_{UK}$
6438.14	560000	-	560000
30000	120000	92000	212000
50000	80000	60000	140000

### 6.3. Analiza troškova

Unutar trogodišnjeg promatranog perioda, odabranom zračnom prijevozniku otkazalo je ukupno 14 komponenata gumenih obloga te je svaki od tih otkaza predstavljao AoG za pojedini zrakoplov. Uzevši prethodno definiranu proizvoljnu vrijednost troška za jedan AoG koja iznosi 40000 n.j. može se zaključiti da se trošak kumulativno povećava sa svakim novim otkazom. Tablica 6. prikazuje vrijeme u radu komponente gumenog obloga u trenutku otkaza, odnosno TSN te kumulativni trošak AoG prilikom otkaza svake od 14 komponenata unutar promatrane 3 godine.

Tablica 6: Trošak održavanja prema zatečenom stanju

TSN [FH]	AoG Trošak [n.j.]
3211	40000
4258	80000
5086	120000
5455	160000
6282	200000
6624	240000
6874	280000
7397	320000
7669	360000
8129	400000
9076	440000
9244	480000
10224	520000
11619	560000

Ukupni trošak nakon 3 promatrane godine uzrokovan od strane 14 otkaza gumenih obloga zbog kojih je zrakoplov bio prizemljen i nije mogao obavljati operaciju leta iznosi 560000 n.j. Vrijeme koje je zrakoplov proveo na održavanju uključivalo je uklanjanje stare, neispravne komponente gumenog obloga te instalaciju nove komponente koja će moći ispravno obavljati funkciju zaštite od zaleđivanja.

Može se reći da trošak ukupnog AoG-a nakon 3 godine predstavlja značajno velik trošak uzimajući u obzir da bi preventivna zamjena samo jedne takve komponente iznosila svega 4000 n.j.

Ukoliko bi se promatrali troškovi koje bi odabrani zračni prijevoznik imao prilikom primjene preventivnog održavanja pri određenim intervalima preventivne zamjene, bitno je odrediti intervale te uzeti u obzir svaki od troškova koji bi nastao zbog instalacije potpuno nove komponente, ali i zbog iznenadnog otkaza neke od komponenata do kojih bi dolazilo pri određenim intervalima preventivne zamjene, a na temelju statističkih podataka odabranog zračnog prijevoznika.

Uzimajući u obzir intervale preventivne zamjene počevši redom od 1000 FH pa sve do 12000 FH s razmakom od 1000 FH, promatraat će se sveukupno 12 različitih predloženih intervala preventivne zamjene te trošak preventivnog održavanja koji bi nastao prilikom njihove primjene.

Kako bi se odredio trošak preventivnog održavanja važno je uzeti u obzir statističke podatke o ukupnim satima leta komponenata gumenih obloga unutar flote odabranog zračnog prijevoznika:

$$T_{FH} = 90134 \text{ FH.}$$

Ukoliko bi se, primjera radi, primijenio preventivni interval održavanja od 3000 FH, komponente gumenih obloga trebalo bi zamjenjivati novima 31 puta unutar perioda od 3 godine:

$$\frac{90134}{3000} = 30.045 \approx 31$$

Dakle, preventivni trošak za preventivni interval od 3000 FH iznosio bi 124000 n.j.:

$$C_P = 31 * 4000 = 124000 \text{ n.j.}$$

Unutar tablice 7 prikazani su svi preventivni troškovi po predloženim intervalima.

**Tablica 7: Trošak preventivne zamjene prema predloženim intervalima**

Interval preventivne zamjene [FH]	Trošak preventivne zamjene [n.j.]
1000	364000
2000	184000
3000	124000
4000	92000
5000	76000
6000	64000
7000	52000
8000	48000
9000	44000
10000	40000
11000	36000
12000	32000

Iz tablice je vidljivo da su preventivni troškovi najviši kod najmanjeg intervala preventivne zamjene što je i logično iz razloga što bi se pri preventivnom intervalu od 1000 FH komponente gumenih obloga najčešće morale zamjenjivati, a s većim brojem zamjena treba i veći broj novih komponenata te su troškovi samim time i veći. S druge strane, s većim intervalom preventivne zamjene komponente su rjeđe mijenjane te sukladno tome treba manje uložiti u sam proces preventivne zamjene. Prema tome, s povećanjem intervala preventivne zamjene, troškovi preventivnog održavanja padaju.

Ukoliko se promatra predloženi preventivni interval zamjene od npr. 4000 FH te statistički podaci o vremenima rada komponenata u trenutku otkaza (TSN) i ukupnom vremenu leta komponenata gumenih obloga unutar 3 promatrane godine koji za interval zamjene od 4000 FH iznose:

$$T_{FH} = 90134 \text{ FH i}$$

$n = 1$  (jer je u trenutku do 4000 FH došlo do svega jednog iznenadnog otkaza gdje je komponenta otkazala pri 3211-tom satu rada) te ukoliko se u obzir uzme trošak AoG do kojeg će doći zbog jednog iznenadnog otkaza ( $1 * 40000 = 40000 \text{ n.j.}$ ) i broj preventivnih zamjena do kojih bi došlo unutar ukupnih sati leta komponenata:

$$\frac{90134}{4000} = 22,5 \approx 23$$

može se izračunati ukupan trošak:

$$C_{UK} = C_{AoG} + C_P = 1 * 40000 + 23 * 4000 = 132000 \text{ n.j.}$$

Tablica ukupnih troškova održavanja komponenata gumenih obloga (tablica 8.) prikazuje zbroj troškova preventivnog održavanja te troškova uzrokovanih zbog iznenadnog prizemljenja zrakoplova u odnosu na predložene intervale preventivne zamjene:

**Tablica 8: Ukupni troškovi održavanja u odnosu na preventivne intervale zamjene**

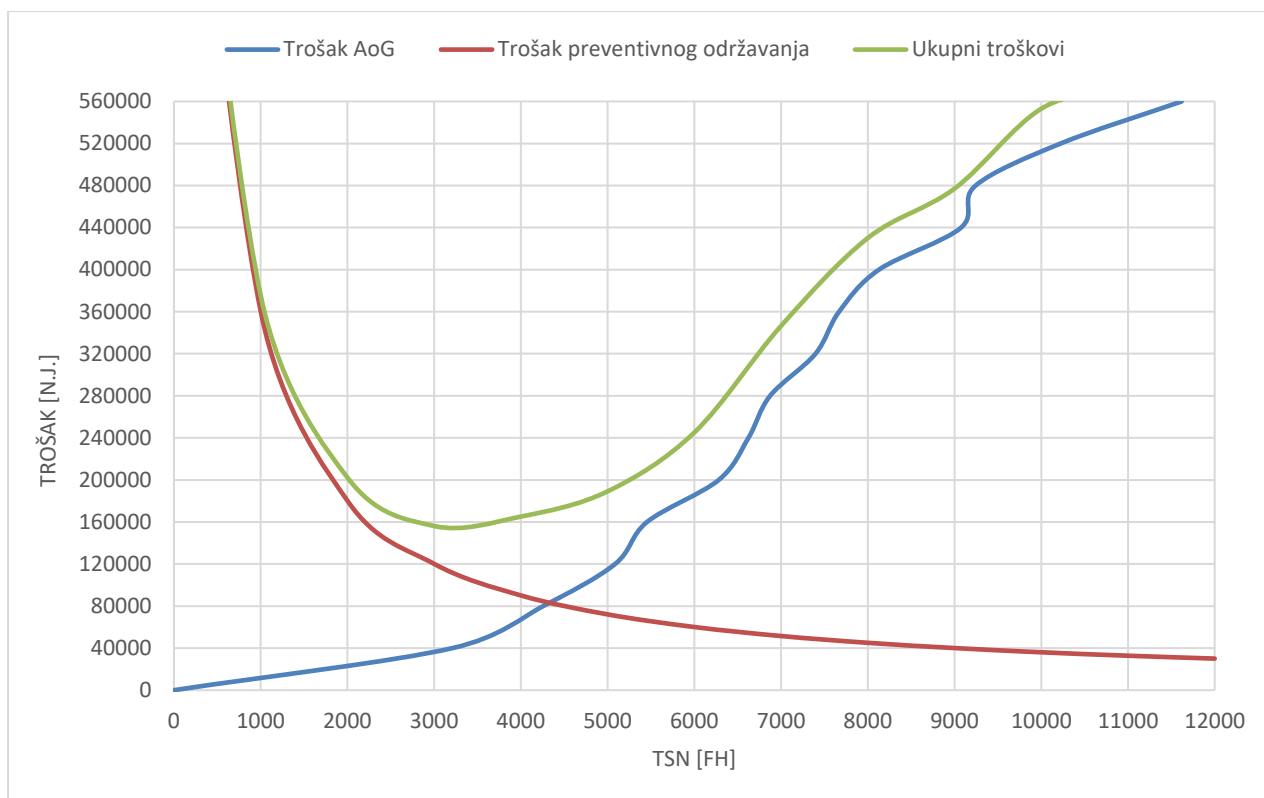
Interval preventivne zamjene [FH]	Ukupni trošak održavanja [n.j.]
1000	364000
2000	184000
3000	124000
4000	132000
5000	156000
6000	224000
7000	332000
8000	408000
9000	444000
10000	520000
11000	556000
12000	592000

Može se zaključiti da bi ukupni troškovi održavanja komponenata gumenih obloga unutar promatranog perioda bili poprilično visoki ako bi se preventivno mijenjale svakih 1000 FH. To znači da bi takav interval predstavljao prečestu preventivnu zamjenu koja bi uzrokovala poveći financijski trošak, a imajući u vidu statistički podatak o komponenti gumenog obloga koja je otkazala nakon svega 3211 FH, što je ujedno i najmanji TSN u promatranom periodu, takav interval preventivne zamjene ne bi bio isplativ niti učinkovit.

Ukupni troškovi su također visoki ako se za preventivni interval uzme predugačak period što je također vidljivo u tablici 8. Takvi dugački intervali između aktivnosti preventivnih zamjena gumenih obloga značili bi i više iznenadnih otkaza prije nego što nastupi sam trenutak preventivnog održavanja. Samim time dolazilo bi do čestih AoG situacija što nikako nije isplativo niti poželjno za zračnog prijevoznika. Osim što učestala prizemljenja zrakoplova uzrokuju financijske troškove, također imaju i utjecaj na ugled zračnog prijevoznika iz razloga što uzrokuju nezadovoljstvo putnika, a samim time je i kvaliteta pružane usluge bitno niža.

Moglo bi se reći da bi najmanje troškove ukupnog održavanja komponenata gumenih obloga pružali intervali od 3000 i 4000 FH, odnosno minimum troškova postigao bi se pri 3000 FH.

Korištenjem programa za tablično računanje; *Microsoft Office Excel*, može se dobiti graf koji prikazuje odnos AoG troškova, troškova preventivnog održavanja te ukupnih troškova održavanja. Navedeni graf 5 prikazan je niže:



**Graf 5: Odnos troškova AoG, troškova preventivnog održavanja te ukupnih troškova održavanja**

Graf prikazuje odnos AoG troškova dobivenih iz statističkih podataka odabranog zračnog prijevoznika, preventivnih troškova održavanja prema predloženim intervalima preventivne zamjene te ukupnih troškova, odnosno sume AoG i preventivnih troškova. Kao što se to dalo zaključiti iz tablice 8, na grafu 5 je također vidljiv minimum ukupnih troškova pri intervalima održavanja od 3000 i 4000 FH.

Iz predloženog se može zaključiti da bi optimalni interval preventivne zamjene, koji bi osigurao najekonomičnije poslovanje zrakoplovnog prijevoznika, bio interval od 3000 FH pri kojemu bi zračni prijevoznik za održavanje komponenata gumenih obloga morao uložiti 124000 n.j. unutar 3 godine. Ako se ovaj iznos usporedi s trenutnim iznosom prema stvarnim podacima o otkazima komponenata te troškovima AoG koji iznose 560000 n.j. vidi se da bi predloženi interval označavao poboljšanje u poslovanju zračnog prijevoznika.

## 6.4 . Weibull-ova distribucija

Primjenom *Weibull*-ove dvoparametarske distribucije u cilju je pronaći optimalan interval preventivne zamjene na temelju podataka o prijašnjim otkazima. Interval preventivne zamjene trebao bi osigurati dostatnu razinu pouzdanosti koja se može procijeniti preko računanja faktora skale ( $\alpha$ ) i faktora oblika ( $\beta$ ).

Pознаvajući podatke o otkazima gumenih obloga odabranog zračnog prijevoznika (tablica 3) mogu se odrediti faktor skale i faktor oblika. Oni se mogu odrediti pomoću sljedećih koraka:

1. Poredati podatke u uzlazni niz.
2. Svakom podatku pridružiti neki rang na način da najmanji podatak ima rang 1, drugi najmanji ima rang 2 itd.

- prva dva koraka vidljiva su u tablici 9

Tablica 9: Uzlazno poredani podaci o brojevima otkaza i TSN-u za potrebe određivanja *Weibull*-ovih faktora oblika i skale

Broj otkaza i rang - $i$	TSN [FH]
14	11619
13	10224
12	9244
11	9076
10	8129
9	7669
8	7397
7	6874
6	6624
5	6282
4	5455
3	5086
2	4258
1	3211

3. Svakom podatku pridružiti vjerojatnost. Najjednostavnija varijanta izračuna vjerojatnosti je prema formuli:

$$P = \frac{i - 0.5}{n}$$

gdje je:

$i$  – rang pridružen statističkom podatku  $i$



$n$  – veličina uzorka ( $n = 14$ ).

4. Odrediti prirodni logaritam statističkih podataka (vrijeme rada komponente u trenutku otkaza – TSN) koji će se koristiti za vrijednosti apscise, npr.:

$$x_1 = \ln(TSN_1),$$

$$x_2 = \ln(TSN_2),$$

$$x_i = \ln(TSN_i).$$

5. Izračunati vrijednosti ordinate preko formule:

$$y_i = \ln(-\ln(1 - P_i))$$

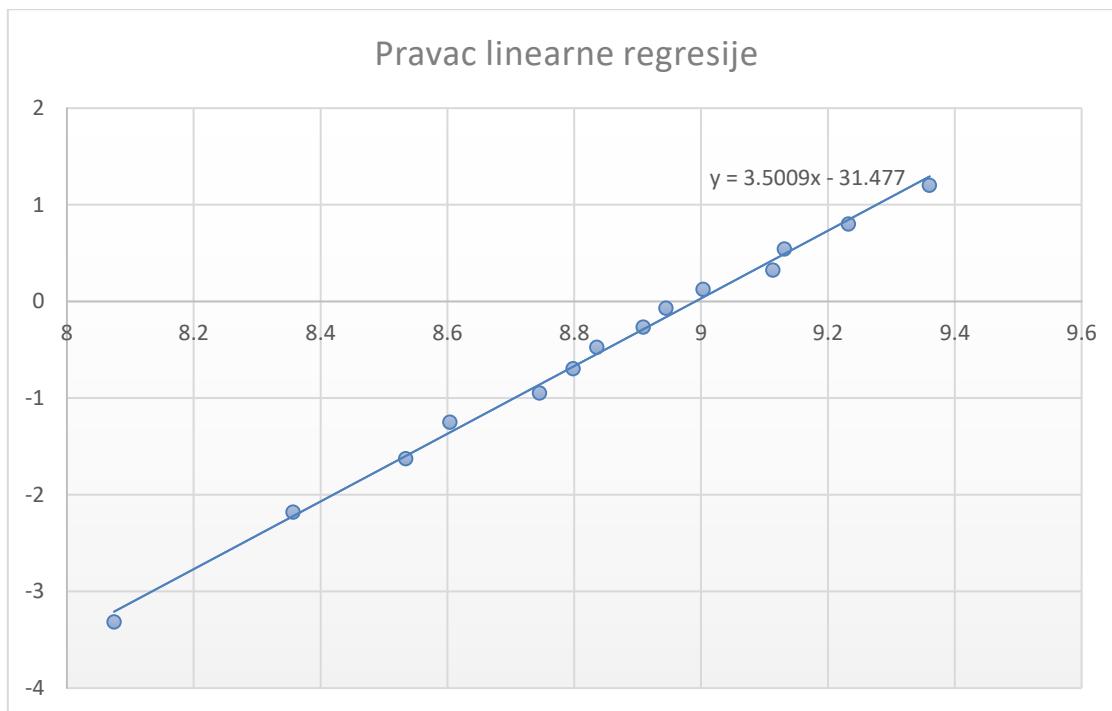
6. Sa vrijednostima apscise i ordinate dobivenih u prethodna dva koraka potrebno je nacrtati pravac linearne regresije. Pravac se može dobiti i pomoću programa za tablično računanje; Microsoft Office Excel, koji je korišten za potrebe izračuna pripadajućeg grafa i pravca, odnosno trend linije.
7. Nagib pravca regresije je faktor oblika, a odsječak pravca na osi y je negativan umnožak faktora oblika i prirodnog logaritma faktora skale. [20]

Tablica 10. prikazuje sve parametre (vjerojatnost, komponente x i y osi) izračunate prema navedenim koracima na temelju rangiranih podataka o otkazima komponenata.

**Tablica 10: Parametri dobiveni na temelju proračuna za dobivanje Weibull-ovih faktora skale i oblika**

Broj otkaza i rang - $i$	TSN [FH]	Vjerojatnost - $P$	Vrijednosti x osi	Vrijednosti y osi
14	11619	0.964286	9.360397	1.203634
13	10224	0.892857	9.232493	0.803611
12	9244	0.821429	9.13173	0.543931
11	9076	0.75	9.113389	0.326634
10	8129	0.678571	9.003193	0.126615
9	7669	0.607143	8.944942	-0.06795
8	7397	0.535714	8.90883	-0.26494
7	6874	0.464286	8.835501	-0.47136
6	6624	0.392857	8.798455	-0.69517
5	6282	0.321429	8.745444	-0.94735
4	5455	0.25	8.604288	-1.2459
3	5086	0.178571	8.534247	-1.62602
2	4258	0.107143	8.356555	-2.17746
1	3211	0.035714	8.074338	-3.31408

Temeljem dobivenih podataka moguće je i dobiti pravac linearne regresije preko kojeg se mogu odrediti faktor oblika i faktor skale. Graf 6 prikazuje navedeni pravac.



**Graf 6: Pravac linearne regresije**

Dobivena je jednačba pravca preko koje se mogu dobiti faktor skale ( $\alpha$ ) i faktor oblika ( $\beta$ ).

$$y = 3.5009x - 31.477$$

gdje vrijednost 3.5009 predstavlja nagib pravca, odnosno koeficijent smjera pravca, a vrijednost 31.477 predstavlja odsječak na y osi.

Dakle, faktor oblika može se jednostavno iščitati iz funkcije jer je on jednak koeficijentu smjera pravca:

$$\beta = 3.5009$$

Faktor skale može se dobiti preko odsjeka na y osi na sljedeći način:

$$31.477 = \beta \ln(\alpha)$$

odnosno:

$$\alpha = e^{\frac{31.477}{\beta}}$$

gdje se dobiva da je faktor skale jednak:

$$\alpha = e^{\frac{31.477}{3.5009}} = 8031.42$$

Sa vrijednostima faktora skale i oblika može se dobiti pouzdanost za dvoparametarsku *Weibull*-ovu distribuciju:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

Kako je predmet ovog rada određivanje preventivnog intervala zamjene gumenih obloga, bitno je odrediti upravo vremenski period  $t$  koji bi osigurao određenu zadovoljavajuću razinu pouzdanosti. Iz tog razloga, vrijednosti pouzdanosti određivat će se proizvoljno te će se na temelju tih vrijednosti promatrati odnosi i kretanje potencijalnih intervala preventivne zamjene. Potencijalne intervale preventivne zamjene odredit će se na način:

$$t = -\alpha(\ln(R(t)))^{\frac{1}{\beta}}$$

Tablica 11 prikazuje odnose odabranih vrijednosti pouzdanosti i dobivenih intervala preventivne zamjene na temelju predložene pouzdanosti.

**Tablica 11: Odnos odabranih pouzdanosti i intervala preventivne zamjene**

Pouzdanost - $R(t)$	Interval – $t$ [FH]
<b>99.9%</b>	1116.69
<b>99%</b>	2158.41
<b>98%</b>	2634.8
<b>97%</b>	2962.65
<b>96%</b>	3221.12
<b>95%</b>	3438.21
<b>94%</b>	3627.44
<b>93%</b>	3796.46
<b>92%</b>	3950.08
<b>91%</b>	4091.52
<b>90%</b>	4223.08
<b>80%</b>	5232.65
<b>70%</b>	5982.78
<b>60%</b>	6629.23
<b>50%</b>	7233.12
<b>40%</b>	7833.35
<b>30%</b>	8468.76
<b>20%</b>	9200.83
<b>10%</b>	10191.92
<b>1%</b>	12423.45

Promatrane vrijednosti unutar tablice 11. prikazuju porast intervala preventivne zamjene s padom postotka pouzdanosti te pad sati intervala preventivne zamjene s porastom postotka pouzdanosti. Odnosno, što je interval preventivne zamjene manji, pouzdanost će biti veća i obrnuto. Moglo bi se zaključiti da će sredstvo imati veću pouzdanost u radu ukoliko se ono preventivno održava u čestim intervalima. Dakako, treba uzeti u obzir i da će troškovi održavanja biti veći sa učestalijim održavanjima. Dakle bitno je pronaći najpogodniju „sredinu“, odnosno onaj interval koji će osigurati dostatnu pouzdanost sredstva, ali ne izazvati preveliku količinu troškova za zračnog prijevoznika.

Ukoliko se izračuna trošak održavanja za svaku od pouzdanosti navedenih u tablici 11 na način da se u obzir uzmu ukupni FH svake od komponenata gumenih obloga unutar promatranog trogodišnjeg perioda od 90134 FH, mogu se dobiti vrijednosti troškova održavanja prikazane unutar tablice 12.

Primjer izračuna troškova preventivnog održavanja za pouzdanost od 99.9% pri intervalu od 1116.69 FH prikazan je sljedećom formulom:

$$C_P = \frac{T_{FH}}{t} * 4000 = \frac{90134}{1116.69} * 4000 = 80.72 * 4000 \approx 81 * 4000 = 324000$$

**Tablica 12: Trošak preventivnog održavanja u odnosu na odabranu pouzdanost i interval preventivne zamjene**

Pouzdanost - $R(t)$	Interval – $t$ [FH]	Broj planiranih zamjena	Trošak preventivnog održavanja [n.j.]
99.9%	1116.69	81	324000
99%	2158.41	42	168000
98%	2634.8	35	140000
97%	2962.65	31	124000
96%	3221.12	28	112000
95%	3438.21	27	108000
94%	3627.44	25	100000
93%	3796.46	24	96000
92%	3950.08	23	92000
91%	4091.52	23	92000
90%	4223.08	22	88000
80%	5232.65	18	72000
70%	5982.78	16	64000
60%	6629.23	14	56000
50%	7233.12	13	52000
40%	7833.35	12	48000
30%	8468.76	11	44000
20%	9200.83	10	40000
10%	10191.92	9	36000
1%	12423.45	8	32000

Kao što je već prethodno spomenuto, sa učestalijim održavanjem, odnosno manjim preventivnim intervalom dolazi do viših troškova održavanja i obrnuto.

Ako se u obzir uzmu statistički podaci o otkazima komponenata gumenih obloga te se na temelju njih izračunaju troškovi AoG za pojedini interval preventivne zamjene u odnosu na pouzdanost *Weibull*-ove distribucije, može se izračunati ukupni trošak održavanja po pojedinom preventivnom intervalu, odnosno pri određenoj pouzdanosti.

Vrijednosti su prikazane u tablici 13.

**Tablica 13: Prikaz vrijednosti troškova AoG, troškova preventivnog održavanja te ukupnih troškova održavanja u odnosu na odabranu pouzdanost i interval preventivne zamjene**

Pouzdanost - $R(t)$	Interval – $t$ [FH]	Broj planiranih zamjena	Trošak preventivnog održavanja [n.j.]	Broj otkaza u trenutku $t$	AoG trošak [n.j.]	Ukupni trošak održavanja [n.j.]
<b>99.9%</b>	1116.69	81	324000	0	0	324000
<b>99%</b>	2158.41	42	168000	0	0	168000
<b>98%</b>	2634.8	35	140000	0	0	140000
<b>97%</b>	2962.65	31	124000	0	0	124000
<b>96%</b>	3221.12	28	112000	1	40000	152000
<b>95%</b>	3438.21	27	108000	1	40000	148000
<b>94%</b>	3627.44	25	100000	1	40000	140000
<b>93%</b>	3796.46	24	96000	1	40000	136000
<b>92%</b>	3950.08	23	92000	1	40000	132000
<b>91%</b>	4091.52	23	92000	1	40000	132000
<b>90%</b>	4223.08	22	88000	1	40000	128000
<b>80%</b>	5232.65	18	72000	3	120000	192000
<b>70%</b>	5982.78	16	64000	4	160000	224000
<b>60%</b>	6629.23	14	56000	6	240000	296000
<b>50%</b>	7233.12	13	52000	7	280000	332000
<b>40%</b>	7833.35	12	48000	9	360000	408000
<b>30%</b>	8468.76	11	44000	10	400000	444000
<b>20%</b>	9200.83	10	40000	11	440000	480000
<b>10%</b>	10191.92	9	36000	12	480000	516000
<b>1%</b>	12423.45	8	32000	14	560000	592000

Ako se promatraju ukupni troškovi održavanja prema tablici 13., može se zaključiti da će biti minimalni upravo pri pouzdanosti od 97% pri kojoj bi najpogodniji interval preventivne zamjene iznosio 2962.65 FH. Odabrani interval predstavlja sveukupno 0 neplaniranih otkaza komponenata gumenih obloga te 31 planiranu zamjenu unutar promatranog perioda. Trošak primjene takvog intervala zamjene iznosio bi svega

124000 n.j. što je prihvatljivo u odnosu na trenutni trošak zračnog prijevoznika koji iznosi 560000 n.j. jer su komponente gumenih obloga održavane prema stanju i svi troškovi su zapravo AoG troškovi.

## 7. ZAKLJUČAK

Prilikom održavanja zrakoplova u cilju je održavati kontinuiranu plovidbenost zrakoplova, odnosno sposobnost za sigurnu zračnu plovidbu. Za vrijeme svog životnog vijeka, zrakoplov se mora održavati prema specifičnim zahtjevima kako bi ostao plovidben. Svi zahtjevi regulirani su temeljem nacionalnih i međunarodnih regulativa koje moraju biti provedene od strane zračnih prijevoznika i ovlaštenih organizacija za održavanje.

Program održavanja odgovornost je svakog zračnog prijevoznika koji posjeduje flotu zrakoplova te isti mora biti izrađen za svaki tip zrakoplova unutar flote koju posjeduje. Potrebno je održavati program održavanja te sve radne aktivnosti, obaveze i zadatke vezane uz zrakoplov te zrakoplovne sustave i komponente.

Ekonomično poslovanje bitan je faktor u svakoj grani poslovnog svijeta. Kod grane zrakoplovstva specifično je to što se ekonomičnost ne može staviti ispred sigurnosti, pa je bitno pronaći odgovarajući optimum gdje će se postići najveća razina ekonomičnosti uz prihvatljive razine sigurnosti.

Komponente gumenih obloga u sustavu za odleđivanje motornih usisnika zrakoplova Dash 8 – Q400 održavane su prema zatečenom stanju što uzrokuje velik broj iznenadnih otkaza komponenata, a samim time i velike troškove zbog iznenadnih prizemljenja zrakoplova.

Ukoliko se odabere preventivni interval zamjene koji bi zahtijevao preventivno uklanjanje starih i instalaciju novih komponenata gumenih obloga, to bi uvelike poboljšalo ekonomično poslovanje zračnog prijevoznika te sam ugled u poslovnom svijetu jer bi takvi intervali osigurali smanjenje iznenadnih otkaza komponenata ili pak do takvih ne bi ni dolazilo.

Srednje vrijeme do otkaza komponenata gumenih obloga od 6438.14 FH ne osigurava dostatnu razinu pouzdanosti kakvu bi osigurala vremena srednjih otkaza od npr. 30000, 50000 ili više FH. No, ovo vrijeme se ne može regulirati jer su komponente izrađene i dizajnirane prema određenim principima. Takva pogodna vremena srednjih otkaza se mogu uzeti u razmatranje jedino kao pretpostavljene vrijednosti koje bi osigurale veću pouzdanost sredstva ukoliko bi to inicijalnim dizajnom bilo dopušteno.

Ako se usporede analiza troškova opisana u potpoglavlju 6.3. i analiza *Weibull*-ove distribucije unutar potpoglavlja 6.4. može se zaključiti da bi interval preventivne zamjene koji bi osigurao minimalne troškove te zadovoljavajuću razinu pouzdanosti uz održavanje prihvatljive razine sigurnosti iznosio upravo 3000 FH. Takav interval osigurao bi i ukupne troškove održavanja od 124000 n.j. koji su 4.5 puta manji od trenutnih troškova održavanja koji iznose 560000 n.j. te su uzrokovani samo prisilnim prizemljivanjem zrakoplova zbog iznenadnih otkaza komponenata koje uzrokuju nemogućnost obavljanja sigurnog leta, odnosno narušavaju plovidbenost zrakoplova.



## LITERATURA

- [1] Skybrary. Preuzeto sa: <https://www.skybrary.aero/index.php/JAA> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [2] EASA. Preuzeto sa: [https://www.easa.europa.eu/download/regulations-structure/regulations\\_structure.pdf](https://www.easa.europa.eu/download/regulations-structure/regulations_structure.pdf) [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [3] Domitrović A. Organizacijski sustavi za održavanje zrakoplova. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu. Fakultet prometnih znanosti. Autorizirana predavanja; 2016/2017.
- [4] Domitrović A. Osnovni propisi koji prate eksploataciju i održavanje zrakoplova. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu. Fakultet prometnih znanosti. Autorizirana predavanja; 2016/2017.
- [5] Domitrović A. Zrakoplovni propisi vezani uz eksploataciju i održavanje zrakoplova; program održavanja zrakoplova. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu. Fakultet prometnih znanosti. Autorizirana predavanja; 2017.
- [6] Bazijanac E. Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu. Fakultet prometnih znanosti; 2007.
- [7] Skybrary. Preuzeto sa: [https://www.skybrary.aero/index.php/Continuing\\_Airworthiness](https://www.skybrary.aero/index.php/Continuing_Airworthiness) [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [8] Technical Services. Maintenance Program Q400. Zagreb; 2007.
- [9] 931st Air Refueling Wing. Preuzeto sa: <http://www.931arw.afrc.af.mil/News/Article-Display/Article/186060/oil-check/> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [10] Aerospace Technology. Preuzeto sa: <https://www.aerospace-technology.com/projects/dash8/> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [11] Aerospace Online. Preuzeto sa: <https://www.aerospaceonline.com/doc/pw150a-0001> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]

- [12] CLP Infotools. Ice and Rain Protection. Zagreb; 2004 - 2017.
- [13] Smart Cockpit. Preuzeto sa: [http://www.smartcockpit.com/docs/Q400-Ice\\_and\\_Rain\\_Protection\\_1.pdf](http://www.smartcockpit.com/docs/Q400-Ice_and_Rain_Protection_1.pdf) [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [14] Technical Services. Aircraft Maintenance Manual – Deicer Boots and Hoses, Nacelle – Removal/Installation. Zagreb; 2017.
- [15] Skybrary. Preuzeto sa: [https://www.skybrary.aero/index.php/Aircraft\\_Maintenance](https://www.skybrary.aero/index.php/Aircraft_Maintenance) [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [16] Reuver N. M. Maintenance Interval Adjustment. Delft: Faculty of Aerospace Engineering. Delft University of Technology; 2016.
- [17] Ahmadi A. Aircraft Scheduled Maintenance Programme Development. Lulea: Division of Operation and Maintenance Engineering. Lulea University of Technology; 2010.
- [18] Marshall J. An Introduction to Reliability and Life Distributions. Coventry: The University of Warwick; 2011/2012.
- [19] Weibull. Preuzeto sa: <https://www.weibull.com/hotwire/issue14/relbasics14.htm> [Pristupljeno: rujan 2018.]
- [20] Research Gate. Preuzeto sa: [https://www.researchgate.net/post/How\\_can\\_I\\_determine\\_weibull\\_parameters\\_from\\_data](https://www.researchgate.net/post/How_can_I_determine_weibull_parameters_from_data) [Pristupljeno: rujan 2018.]

## POPIS KRATICA

JAA	( <i>Joint Aviation Authorities</i> ) udružene zrakoplovne vlasti
ECAC	( <i>European Civil Aviation Conference</i> ) Europska konferencija za civilno zrakoplovstvo
JAR	( <i>Joint Aviation Requirements</i> ) zajednički zrakoplovni zahtjevi
EASA	( <i>European Aviation Safety Agency</i> ) Europska agencija za sigurnost u civilnom zrakoplovstvu
ANS	( <i>Air Navigation Services</i> ) usluge zračne plovidbe
ATM	( <i>Air Traffic Management</i> ) upravljanje zračnim prometom
SERA	( <i>Standardized European Rules of the Air</i> ) standardizirana europska pravila letenja
AMO	( <i>Approved Maintenance Organization</i> ) ovlaštena organizacija za održavanje
EC	( <i>European Commision</i> ) Europska komisija
CCAA	( <i>Croatian Civil Aviation Agency</i> ) Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo
TC	( <i>Type Certificate</i> ) certifikat o tipu zrakoplova
CAMO	( <i>Continuing Airworthiness Management Organization</i> ) odobrena organizacija za vođenje kontinuirane plovidbenosti
CAME	( <i>Continuing Airworthiness Management Exposition</i> ) Priručnik organizacije za vođenje kontinuirane plovidbenosti zrakoplova
AOC	( <i>Air Operator Certificate</i> ) svjedodžba o sposobnosti organizacije
C of A	( <i>Certificate of Airworthiness</i> ) svjedodžba o plovidbenosti
MSG - 1	( <i>Maintenance Steering Group</i> )
ATA	( <i>Air Transport Association</i> ) udruženje zračnih prijevoznika

MRB	( <i>Maintenance Review Board</i> ) Odbor za ocjenjivanje održavanja
CAA	( <i>Civil Aviation Authorities</i> ) civilne zrakoplovne vlasti države
MRBR	( <i>Maintenance Review Board Report</i> ) Izvještaj odbora za ocjenjivanje održavanja
MPD	( <i>Maintenance Planning Document</i> ) dokument za planiranje održavanja
AD	( <i>Airworthiness Directives</i> ) naredbe o plovidbenosti
SB	( <i>Service Bulletins</i> ) Servisni bilteni
SL	( <i>Service Letters</i> ) Servisna pisma
MP	( <i>Maintenance Program</i> ) Program održavanja
MS	( <i>Maintenance Schedule</i> ) Raspored održavanja
FH	( <i>Flight Hours</i> ) sati leta
EFH	( <i>Engine Flight Hours</i> ) sati naleta pogonske grupe
CY	( <i>Cycles</i> ) ciklusi
CA	( <i>Calendar Days</i> ) kalendarski dani
WE	( <i>Calendar Week</i> ) kalendarski tjedan
MO	( <i>Calendar Month</i> ) kalendarski mjesec
JAA TGL	( <i>Joint Aviation Authority Temporary Guidance Leaflet</i> ) letak privremenog vođenja udruženih zrakoplovnih vlasti
GVI	( <i>General Visual Inspection</i> ) opće vizualne inspekcije
L/HIRF	( <i>Lighting and High Intensity Radiated Fields Protection</i> ) zaštita od osvjetljenja i visokointenzivnih polja zračenja
ED	( <i>Environmental Damage</i> ) okolišna oštećenja
AD	( <i>Accidental Damage</i> ) slučajna oštećenja
FD	( <i>Fatigue Damage</i> ) oštećenja uslijed zamora

SSI	( <i>Structurally Significant Items</i> ) strukturalno značajne strukture
PSE	( <i>Principal Structural Element</i> ) glavni strukturalni elementi
IRPS	( <i>Ice and Rain Protection System</i> ) sustav zaštite od kiše i leda
DDV	( <i>Dual Distributing Valve</i> ) dvostruki razdjelni ventil
LPS	( <i>Low Pressure Switch</i> ) prekidač niskog tlaka
TMU	( <i>Timer and Monitor Unit</i> ) jedinica brojača i nadzora
ADV	( <i>Automatic Drain Valves</i> ) automatski odvodni ventili
PRRV	( <i>Pressure Regulatind and Relief Valve</i> ) ventil za regulaciju tlaka
NHCV	( <i>Non - Heated Check Valves</i> ) negrijani povratni ventili
LPWS	( <i>Low Pressure Warning Switch</i> ) prekidač za upozoravanje na niski tlak
ISOV	( <i>Isolation Shut - Off Valve</i> ) izolacijski zatvorni ventil
AMM	( <i>Aircraft Maintenance Manual</i> ) priručnik za održavanje zrakoplova
CM	( <i>Condition Monitoring</i> ) nadzor stanja
n.j.	novčane jedinice
MTBF	( <i>Mean Time Between Failure</i> ) srednje vrijeme između otkaza
MTTF	( <i>Mean Time To Failure</i> ) srednje vrijeme do otkaza
TSN	( <i>Time Since New</i> ) vrijeme u radu komponente u trenutku otkaza
FD	( <i>Failure Distribution</i> ) distribucija otkaza
CFD	( <i>Cummulative Failure Distribution</i> ) kumulativna distribucija otkaza

## POPIS SLIKA

Slika 1: Struktura regulacije EASA-inih <i>Part</i> -ova [2].....	4
Slika 2: Primjer MPD dokumenta [5].....	12
Slika 3: Vizualna provjera inspekcijskim ogledalom [9] .....	19
Slika 4: Karakteristike zrakoplova Dash 8 - Q400 flote odabranog zračnog prijevoznika .....	22
Slika 5: Upravljačka ploča za zaštitu od zaleđivanja [12] .....	23
Slika 6: Sustavi zaštite od kiše i leda na zrakoplovu Dash 8 - Q400 [13].....	24
Slika 7: Izgled i smještaj dvostrukog razdjelnog ventila [12] .....	26
Slika 8: Izgled i smještaj automatskih odvodnih ventila [12] .....	27
Slika 9: Smještaj i izgled ventila za regulaciju tlaka te negrijanog povratnog ventila [12] .....	28
Slika 10: Smještaj i izgled prekidača za upozoravanje na niski tlak [12] .....	29
Slika 11: Smještaj i izgled pretvarača tlaka te izgled dvostrukog pokazivača tlaka [12] .....	30
Slika 12: " <i>BOOT AIR - ISO</i> " prekidač na upravljačkoj ploči za zaštitu od zaleđivanja [12] .....	31
Slika 13: Smještaj i izgled izolacijskog zatvornog ventila [12].....	32
Slika 14: Pojednostavljeni prikaz procesa uklanjanja gumenih obloga [14] .....	33
Slika 15: " <i>Walk Around Check</i> " [8] .....	34
Slika 16: Životni vijek i točka potencijalnog neuspjeha – P, pri kojoj potencijalni kvar postaje uočljiv [16] .....	38
Slika 17: Stanja otkaza i rada [6] .....	39

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Lista zrakoplova za koje organizacija može voditi plovidbenost prema CAME priručniku [6]	8
Tablica 2: Ukupan broj FH po određenom zrakoplovu iz flote odabranog zračnog prijevoznika .....	44
Tablica 3: TSN za svaku uklonjenu komponentu od najmanje do najveće vrijednosti .....	45
Tablica 4: Broj otkaza u odnosu na odabranu vrijednost MTTF-a .....	48
Tablica 5: Troškovi u odnosu na odabrane vrijednosti MTTF-a .....	51
Tablica 6: Trošak održavanja prema zatečenom stanju .....	52
Tablica 7: Trošak preventivne zamjene prema predloženim intervalima .....	53
Tablica 8: Ukupni troškovi održavanja u odnosu na preventivne intervale zamjene .....	54
Tablica 9: Uzlazno poredani podaci o brojevima otkaza i TSN-u za potrebe određivanja <i>Weibull</i> -ovih faktora oblika i skale .....	57
Tablica 10: Parametri dobiveni na temelju proračuna za dobivanje <i>Weibull</i> -ovih faktora skale i oblika .....	58
Tablica 11: Odnos odabranih pouzdanosti i intervala preventivne zamjene .....	60
Tablica 12: Trošak preventivnog održavanja u odnosu na odabranu pouzdanost i interval preventivne zamjene .....	61
Tablica 13: Prikaz vrijednosti troškova AoG, troškova preventivnog održavanja te ukupnih troškova održavanja u odnosu na odabranu pouzdanost i interval preventivne zamjene .....	62

## POPIS GRAFIKONA

Graf 1: Distribucija otkaza.....	46
Graf 2: Kumulativna distribucija otkaza .....	47
Graf 3: Kumulativna distribucija otkaza za MTTF = 30000 FH .....	48
Graf 4: Kumulativna distribucija otkaza za MTTF = 50000 FH .....	50
Graf 5: Odnos troškova AoG, troškova preventivnog održavanja te ukupnih troškova održavanja.....	56
Graf 6: Pravac linearne regresije.....	59





Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

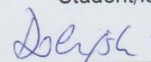
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada  
pod naslovom **Određivanje intervala preventivne zamjene gumenih obloga**  
**u sustavu za odleđivanje motornih usisnika na zrakoplovu Dash 8 - Q400**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom  
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu,

19/09/2018

Student/ica:

  
(potpis)